

ПРИРОДА

11 04



В НОМЕРЕ:
3 Шарова Н.П., Абрамова Е.Б.
**Повреждение и починка ДНК, или
«На каждую прореху найдется
заплата»**

Самые разнообразные повреждения могут возникать в ДНК — и самопроизвольно, и под действием каких-либо агентов. Но любые поломки в структуре наследственной молекулы устраняются благодаря работе механизмов, которые закодированы в той же ДНК.

13 Трубников Б.А., Трубникова О.Б.
**Пять великих распределений
вероятностей**

К четырем известным распределениям вероятностей — Гаусса, Максвелла—Больцмана, Ферми—Дирака и Бозе—Эйнштейна — следует добавить распределение конкурентов. Оно получается, когда возникает конкуренция за обладание ограниченными по объему ресурсами.

20 Калейдоскоп

Солнце вредит спутникам (20). Следить за «погодой» на Солнце (20). К Юпитеру — на атомной энергии (21). Стихийные бедствия: взгляд из космоса (21). Космическая эскадра пополняется (21). Пути к астероидам (21). Обсерватория встает из пепла (22). Как противостоять наводнениям? (22). Где располагались древние верфи? (22).

23 Шапоренко С.И.
**Кисло-сладкие озера
у Полярного круга**

Уникальная гидрологическая и гидрохимическая структура характерна для небольших прибрежных водоемов, постепенно теряющих связь с Белым морем.

31 Валуй Г.А.
**Восточное побережье Приморья—
провинция расслоенных интрузий**

Ритмически расслоенные граниты — образования исключительно редкие. В мире есть районы, где обычно не проявляющие расслоенности массивы горных пород почему-то вдруг все оказываются расслоенными. Именно таким местом оказалось восточное побережье Приморья.

39 Островский А.Н.
**Коралловые рифы:
утраченный рай?**

Коралловые рифы во всем мире стоят на пороге вымирания. В чем причины этого? Есть ли надежда на возрождение кораллов?

Заметки и наблюдения
45 Орден К.ван, Паклина Н.В.
Певчие птицы с повадками хищника
49 Гродницкий Д.Л.
**Сибирский шелкопряд
и судьба пихтовой тайги**
56 Архивные SMS-ки
Одесские изгнанники
Научные сообщения
57 Басов И.А.
**Палеогеновая эволюция
осадконакопления
в экваториальной Пацифике**
 199-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»

59 Расс Ирина Т., Расс Ирма Т.
Жил-был профессор
 К 100-летию со дня рождения Т.С.Расса
Новости науки

Ритмика магнитных процессов на Солнце (73). Определение массы коричневого карлика (73). Взглянуть на астероид по-новому (74). Создан новый каталог скопленных галактик (75). Станные магнитные поля Урана и Нептуна. Сурдин В.Г. (75). Что определяет максимальную высоту дерева. Липина Т.В. (76). «Холодная» амплификация ДНК (77). Песенный дуэт кустарникового крапивника. Опаев А.С. (77). Южно-Китайское море — молодой океанический бассейн (78). Волны жизни океанского планктона (78). Фонтан пресной воды на морском дне (79). Водные запасы на Земле к середине XXI века (79). Грандиозное землетрясение 2002 года (80). Землетрясение в Калининграде — неожиданность? Никонов А.А. (81). Изменения климата на северо-западе Японского моря (82). Климат Земли за 740 тысяч лет. Гиляров А.М. (83). Арктика и Антарктика теплеют несинхронно (84). Бабочка в янтаре. Петров П.Н. (84).

Рецензии
85 Сахарнов С.В.
История одной забытой экспедиции
Новые книги
91 Сурдин В.Г.
Эффект инженера Яркковского

CONTENTS:

3 Sharova N.P., Abramova E.B.

Damage and Repair of DNA, or «There is a Patch for Every Gap»

All sorts of defects can arise in DNA, both spontaneously and due to some external factors. But any structural damages in this hereditary molecule are repaired by special machinery which is encoded in the same DNA.

13 Trubnikov B.A., Trubnikova O.B.

The Five Great Distributions of Probability

To the four well-known probability distributions (named after Gauss, Maxwell—Boltzman, Fermi—Dirac and Bose—Einstein) should be added a fifth one — the distribution of competitors. It arises when a number of entities compete for access to limited resources.

20 Kaleidoscope

The Sun is Detrimental to Satellites (20). Keeping Track of «Weather» on the Sun (20). Mission to Jupiter Powered by Nuclear Energy Source (21). Natural Disasters: A View From Orbit (21). Space Fleet is Reinforced (21). Tracks to Asteroids (21). Observatory is Restored from Ashes (22). How to Withstand Floods? (22). Where Ancient Shipyards Were Located? (22).

23 Shaporenko S.I.

Acidly-sweet Lakes Near Polar Circle

The small littoral basins gradually becoming isolated from the White Sea possess an unique hydrological and hydrochemical structure.

31 Valuj G.A.

The Eastern Coast of Primorye — a Province of Layered Intrusions

Rhythmic layered granites are exceptionally rare formations. In some regions of the world the bodies of rock that usually show no signs of layering, for some reason all turn out to be layered. The Eastern coast of Primorye is one of these regions.

39 Ostrovsky A.N.

Coral Reefs: A Lost Paradise?

Throughout the world coral reefs are on the verge of extinction. What is the reason why? Is there any hope for revival of corals?

Notes and observations

45 Orden K.von, Paklina N.V.

Song-birds With Habits of Predator

49 Grodnitzky D.L.

Siberian moth and destiny of fir taiga

56 Archive SMS

Exiled from Odessa

57 Basov I.A..

Paleogenic Evolution of Sediments Accumulation in Equatorial Pacific 199th expedition of «JOIDES Resolution»

59 Rass Irina T., Rass Irma T.

So Lived Professor To Centenary of T.S.Rass

73 Science News

Rhythmic of Sun Magnetic Activity (73). Determination of Brown Dwarf Mass (73). A New View on Asteroid (74). New Catalogue of Galactic Clusters is Compiled (75). Odd Magnetic Fields of Uran and Neptune. Surdin V.G. (75). What Determines Maximal Tree Height? Lipina T.V. (76). «Low-temperature» DNA Amplification (77). Duet Singing of Shrubby Wren. Opaev A.S. (77). South China Sea — a Recent Ocean Basin (78). Waves of Oceanic Plankton Life (78). Fresh Water Streams at Seabed (79). World Water Resources at the Middle of 21 Century (79). Mighty Earthquake of 2002 (80). Was Kaliningrad Earthquake Unexpected? Nikonov A.A. (81). Climate Changes in North-Western Part of Japanese Sea (82). Global Climate During Last 740 000 Years. Ghilyarov A.M. (83). Warming in Arctic and Antarctic Was Not Synchronous (84). Butterfly in Amber. Petrov P.N. (84).

Book Reviews

85 Sacharnov C.V.

History of a Forgotten Expedition

89 New Books

Encounters with Forgotten

91 Surdin V.G.

Effect of Engineer Yarkovsky

Повреждение и починка ДНК, или «На всякую прореху найдется заплата»

Н.П.Шарова, Е.Б.Абрамова

Записанная в ДНК генетическая программа любого живого существа — от простейшего одноклеточного до высокоорганизованного многоклеточного — сохраняется в череде потомков благодаря точному воспроизведению нуклеотидной последовательности в каждом поколении. Но если в главной наследственной молекуле возникают повреждения, а это случается даже спонтанно, изменения в ее структуре могут привести не только к разным патологиям тканей или органов, но и к передаче мутации потомству. И, как это ни удивительно, ДНК — единственная клеточная макромолекула, способная исправлять повреждения в собственной структуре. В ней даже закодирована информация о механизмах тех процессов, которые занимаются таким ремонтом (в строго научной среде их называют репарационными). Именно «починка» ДНК обеспечивает запас прочности организма.

Восстановление структуры ДНК особенно важно при формировании репродуктивных (половых) клеток и в эмбриональном развитии: во время активного синтеза новых цепей риск появления и повторения ошибок многократно увеличи-



Наталья Петровна Шарова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН.



Елена Борисовна Абрамова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник того же института.

Область научных интересов — репликация и репарация ДНК, механизмы функционирования ДНК-полимераз в онтогенезе, роль протеасомы в процессах, обеспечивающих репарацию ДНК.

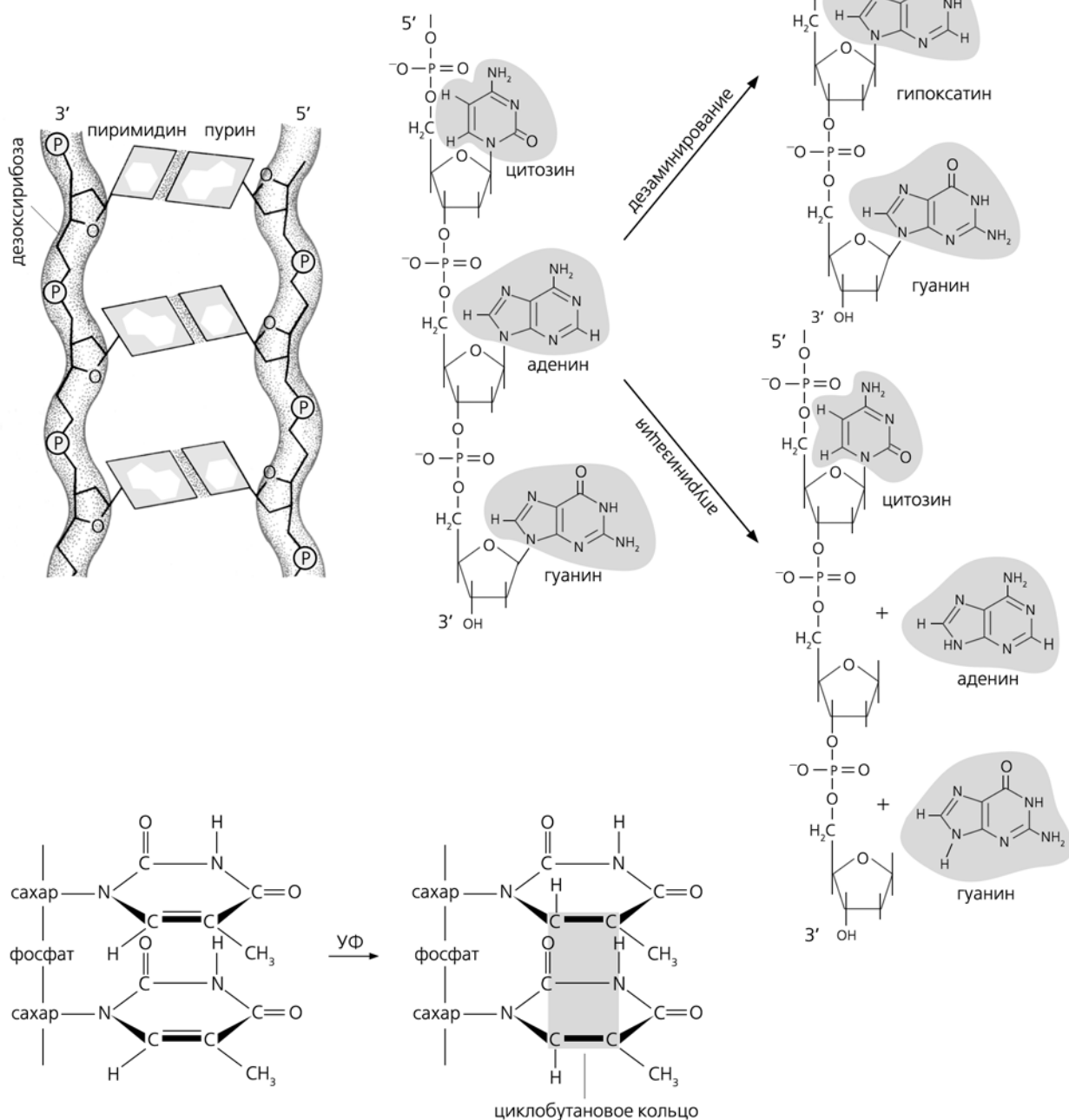
вается. Наследственная молекула должна залечиваться очень быстро, и делящиеся эмбриональные клетки «знают», как это осуществить. Устраняются разные повреждения ДНК и в течение всей жизни организма. Начнем рассказ с известных к настоящему времени типов повреждений, чтобы затем рассмотреть механизмы починки, потому что от характера неис-

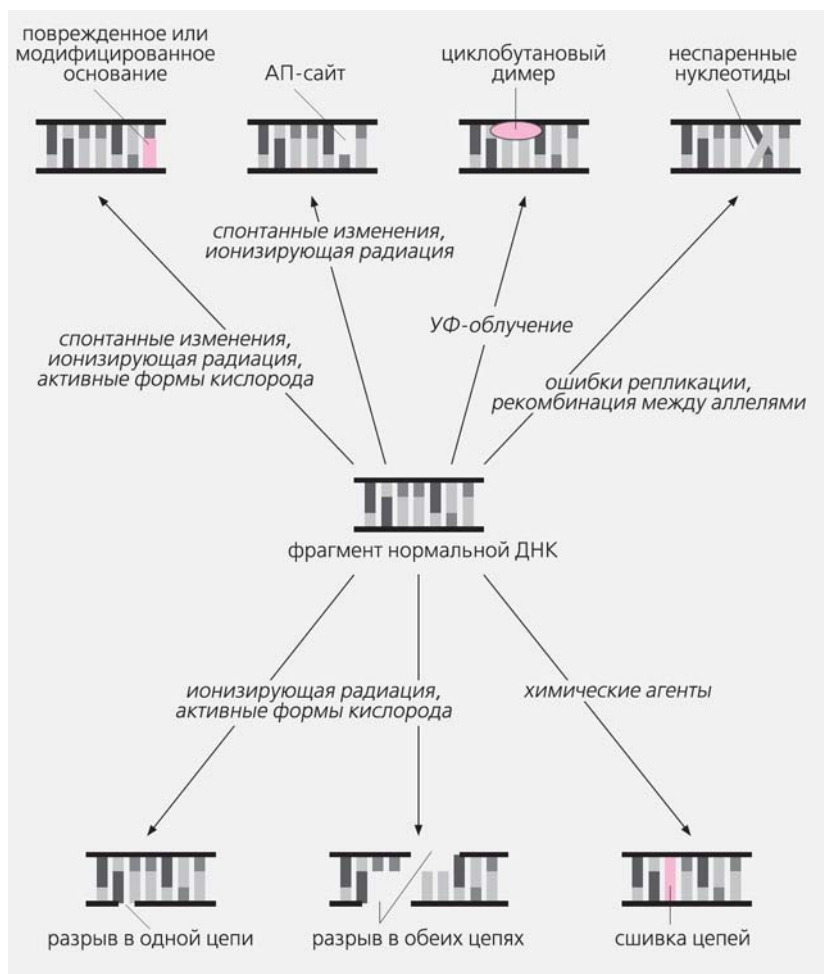
правности зависит, каким способом она будет ликвидирована.

Что может испортиться в ДНК

Поломки возможны в любом из образующих ДНК компонентов — и в азотистых основаниях, и в сахарофосфатном остове, причем как при копирова-

Нормальная молекула ДНК (фрагмент) и схемы образования наиболее частых повреждений — дезаминирования, апуринизации и цикlobутановых димеров. При дезаминировании цитозин превращается в урацил, а аденин — в гипоксантин. Если разрывается связь между остатком дезоксирибозы и пуриновым основанием (здесь аденин и гуанин), в этом месте остается только сахарофосфатный остов, т.е. возникает апуриновый сайт. Под действием ультрафиолета в ДНК может образоваться цикlobутановый димер из двух соседних пиримидинов (тиминов), находящихся в одной цепи.

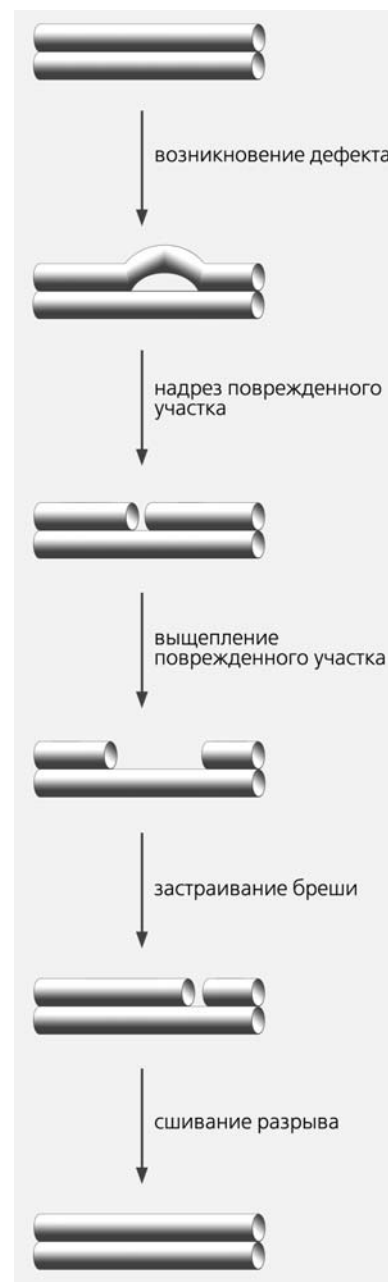




Повреждения, которые могут возникнуть в ДНК спонтанно или под действием разных агентов.

Обобщенная схема восстановления нормальной структуры ДНК.

Дефектным может быть одиночное основание, и тогда вырезается только нуклеотид; в случае более объемного повреждения из цепи удаляются и соседние с ним нуклеотиды, а образовавшуюся брешь застраивают полимеры — или самостоятельно, или в присутствии белка-помощника (PCNA).



нии (репликации), так и при считывании (транскрипции) информации для последующего синтеза клеточных белков.

Часто случаются апуринизация того или иного нуклеотида и дезаминирование оснований. В первом случае рвутся гликозидные связи между пурином (аденином или гуанином) и дезоксирибозой, в результате чего эти основания выщепляются из цепи ДНК (место, в котором произошло такое событие, на-

зывают АП-сайтом). Вторым случаем — дезаминирование — приводит к образованию несвойственных для структуры ДНК соединений: вместо цитозина, аденина или гуанина появляются урацил, гипоксантин или ксантин, соответственно. Оба процесса **спонтанные**. За сутки в клетке человека апуринизация повторяется 5–10 тыс. раз, а частота дезаминирования составляет примерно 100 событий на полный геном.

Действие **ультрафиолетового облучения** приводит к насыщению двойных связей пиримидиновых оснований и образованию димеров из двух соседних пиримидинов в одной цепи ДНК. **Ионизирующая радиация** может вызвать несколько повреждений: разрыв пуринового кольца, фрагментацию основания, окисление апуринового сайта, а также одно- и двухцепочечные разрывы (это фактически разлом хромосом — главная

причина летального действия ионизирующей радиации). Некоторые **химические агенты** способны сшивать цепи ДНК. **Активные формы кислорода** (OH^\cdot , $\text{O}_2^{\cdot-}$, H_2O_2 , перекиси липидов и др.), постоянно генерируемые в процессах метаболизма, повреждают и основания, и дезоксирибозу, что способствует образованию новых ковалентных связей. Особенно подвержены окислительному действию соседствующие гуанины (GG). Это буквально «горячие точки» такого процесса, а его конечный результат — модифицированное производное гуанозина. Сахарофосфатные связи разрушаются в тех случаях, когда обе нити ДНК лишились пуринов в противолежащих друг другу местах или вблизи произошла фрагментация дезоксирибозы. Тогда рвутся сразу обе цепи ДНК. Источником структурных дефектов может быть и естественный процесс — **репликация**, если в комплементарных цепях появляются неспаренные нуклеотиды.

Клетка способна устранить перечисленные повреждения, несмотря на их различия, и восстановить структуру ДНК. Вполне понятно, что для этого требуются специальные механизмы. И хотя в частности они отличаются один от другого и бывают весьма сложными, все же подчиняются общим принципам. Сначала опознается вид возникшей неисправности. Этим занимаются один белок или несколько (тогда они объединяются в месте изъяна в комплекс). Затем поврежденный участок вырезается в ходе ферментативных реакций, после чего ДНК-полимераза синтезирует правильный кусок ДНК. Завершается репарация сшиванием отдельных фрагментов цепи ДНК-лигазой. Такова общая схема, но каждый тип ремонта осуществляют собственные белки и ферменты, определяющие его индивидуальность. Не правда ли, эта схема напоминает обычное латание дыр на одежде?

Молекулярные ножницы и заплатки

Большая часть структурных нарушений в ДНК устраняется вырезанием (этот тип репарации специалисты называют эксцизионной; по-англ. excision repair), которое осуществляют ферменты нуклеазы. Бракованное основание удаляется в одиночку или вместе с окружением — участками цепи в 2—10 нуклеотидов. Так вырезаются модифицированные и поврежденные основания, апуриновые сайты и места с одноцепочечными разрывами. (Данная разновидность названа эксцизионной репарацией оснований; base excision repair, BER.) В случае более крупных неисправностей — возникновения пиримидиновых димеров или других объемных образований в ДНК, нарушающих структуру спирали, — клеточные ножницы отстригают испорченную часть в составе куска длиной в 30 нуклеотидов. (Это уже эксцизионная репарация нуклеотида, nucleotide excision repair, NER.)

Каков будет размер вырезаемого куска, а значит, и заплаты, зависит от самого повреждения и соотношения имеющихся в клетке ДНК-полимераз. Эти ферменты застраивают бреши, образовавшиеся после вырезания аномального участка, используя в качестве матрицы фрагмент противоположной цепи ДНК. ДНК-полимеразы (у эукариот их известно более 15) различаются по ряду признаков, в том числе по количеству нуклеотидов, которые они успевают встроить в растущую цепь за один акт связывания с дуплексом ДНК. Полимеразы β и λ присоединяют всего один нуклеотид, т.е. накладывают маленькую заплатку (short patch путь BER, как говорят специалисты). Две другие ДНК-полимеразы — δ и ϵ — способны создать большую вставку, но для этого им нужен специальный помощник — белок PCNA (proliferating cell nuclear antigen). Особенно зависим от него первый

фермент — без помощника он «отваливается» от ДНК, встроив лишь один нуклеотид, а если PCNA удерживает на ней полимеразу δ , то синтез идет до тех пор, пока фрагмент не достигнет нужной длины. Если в клетке не хватает той или иной ДНК-полимеразы, репарация может переключиться с одного пути на другой, т.е. с малой заплатки на большую (long patch путь BER). Клеточные линии фибробластов мышинных эмбрионов восстанавливают нормальную структуру на месте апуринизации преимущественно посредством малой заплатки (в 80% событий), а если в клетках поврежден ген ДНК-полимеразы β , починка проходит исключительно наложением большой заплатки. Кстати, способ латания дыр клеткой зависит и от того, сколько в ней содержится белка PCNA.

Мелкие неполадки. Если в ДНК изменено одно основание, его распознают, а потом вырезают N-гликозилазы, и в результате в цепи остается дезоксирибозофосфат (как при апуринизации). Далее сахарофосфатный остов надрезается АП-эндонуклеазой (класса II) с 5'-стороны от этого промежуточного продукта, похожего на АП-сайт. Совсем удалить его клетка может двумя способами (short patch или long patch BER): вырезав только сам остаток дезоксирибозофосфата или вместе с окружающими двумя—десятью нуклеотидами. По размеру образовавшейся дырки синтезируется и заплатка. Брешь в один нуклеотид застраивается ДНК-полимеразой β . Иное дело, если появившийся в ДНК АП-сайт еще и подвергся окислению или восстановлению. Такую структурную аномалию вместе с окружающими нуклеотидами вырезает другой фермент — нуклеаза FEN1, — а образовавшуюся брешь застраивают ДНК-полимеразы δ или ϵ , которые работают только с помощником — белком PCNA. Иногда короткие пробелы (длиной до 5—6 нуклеотидов) заполняют ДНК-по-

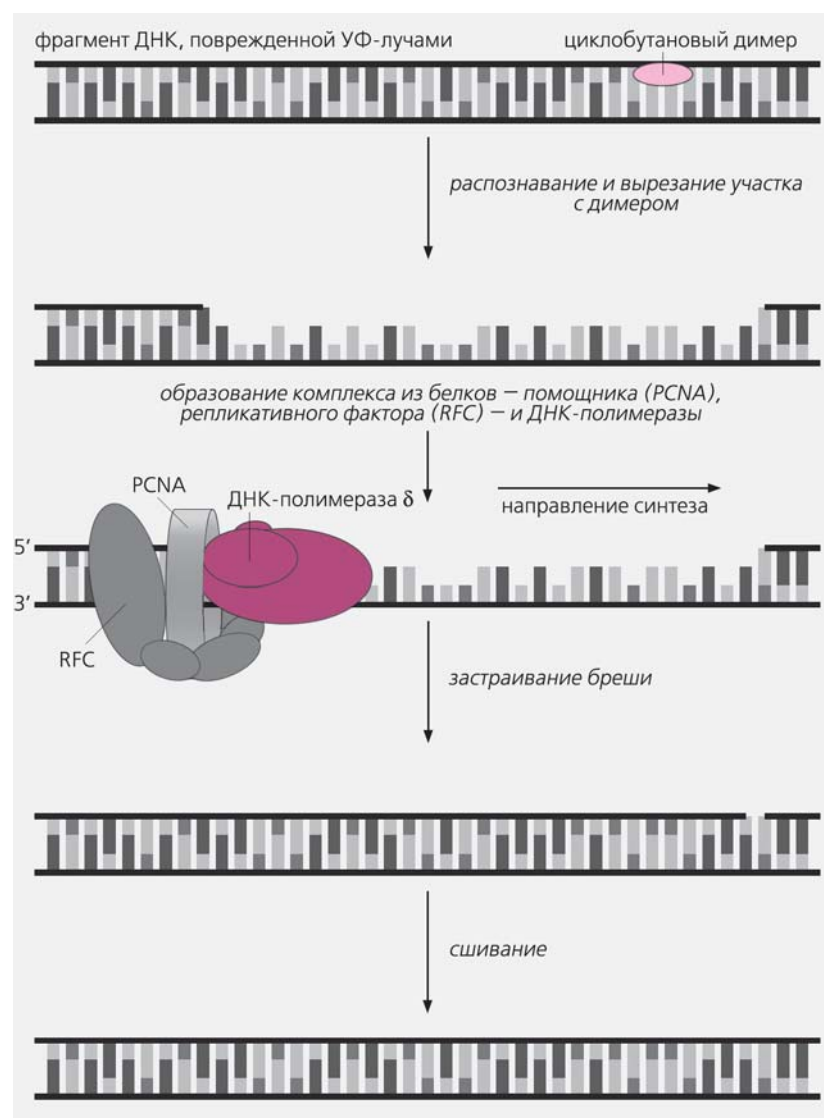
лимеразы β или λ . Помощник им не нужен, так как они сами могут временно «заякориться» на свободном 5'-конце цепи, прилежащем к бреши, и задержаться на какое-то время на ДНК, чтобы осуществить ресинтез вырезанного участка.

Мы несколько лет занимаемся исследованием репарации у костистых рыб в период их эмбрионального развития. В этот период онтогенеза активно синтезируются новые цепи ДНК, и потому риск появления и повторения ошибок многократно увеличивается. Чтобы не произошло подобного, наследственная молекула должна очень быстро залечиваться. Сначала мы предположили, что делящиеся эмбриональные клетки должны иметь несколько равноценных способов устранения одного и того же повреждения. Таким способом одновременно восстанавливалась бы структура ДНК на всех поврежденных участках, и процесс успешно завершался бы даже в том случае, если другие пути репарации подавлены по какой-либо причине. Но вместо того, чтобы экспериментально подтвердить свое предположение, мы обнаружили неизвестный ранее вид репарации ДНК. Работая с эмбрионами и яйцеклетками вьюна (костистой рыбы), мы неожиданно столкнулись с самостоятельной застройкой довольно крупных брешей (до 10–13 нуклеотидов) ДНК-полимеразой δ — тем самым ферментом, который, как только что упоминалось, не может обходиться без помощника PCNA. Но в эмбриональном периоде вьюна полимеразы δ в помощнике не нуждалась. Оказалось, что этот фермент способен связываться одновременно с обоими концами разорванной ДНК [1] и прочно удерживаться там, пока не «залатает дырку» полностью. Этот механизм репарации ДНК в эмбриональных активно делящихся клетках ранее не был известен. Между тем он очень важен, особенно если учесть, что большой заплатой

устраняется основное число возникших в ДНК дефектов. Открытый нами способ репарации уникален тем, что действует в экстремальных условиях: совсем без белка-помощника или при его незначительном количестве, а также в том случае, когда в клетке не хватает других ДНК-полимераз, которые обходятся без PCNA.

Не дырка, а затяжка. Ультрафиолетовые лучи вызывают

ковалентное сшивание соседних пиримидинов (например, тиминов) в молекуле ДНК. В распознавании и вырезании образовавшихся цикlobутановых димеров участвуют семь белков — продуктов генов семейства *XP* (*XPA–XPG*). У человека мутации хотя бы в одном из них могут привести к возникновению наследственного заболевания — пигментной ксеродермы (xeroderma pigmento-



Стадии восстановления ДНК, в которой образовался цикlobутановый димер. Участок с этой структурой, мешающей копированию ДНК, распознают и вырезают эндонуклеазы семейства *XP* (ксеродермы), а застраивает образовавшуюся брешь в 29 нуклеотидов полимеразы δ (или ϵ) при наличии фактора репликации (RFC) и белка-помощника (PCNA).

sum, XP), которая проявляется в первые годы жизни ребенка. На не защищенных от солнечных лучей участках кожи появляются пигментные пятна и в конце концов может развиваться рак кожи.

Зачем нужно так много белков, и как они действуют? Каждый из них играет строго определенную роль. Белок XPA узнает пиримидиновый димер в ДНК и связывается с другими членами семейства. XPB и XPD входят в состав сложного белкового комплекса — фактора транскрипции IIH (TFIIH), который расплетает ДНК в участке, подлежащем вырезанию. Еще один белок — XPC — удерживает этот комплекс на поврежденном участке ДНК, а два последних (их называют нуклеазами вырезания) — XPF и XPG — работают как ножницы. Первая нуклеаза разрезает 24-ю фосфодиэфирную связь с 5'-стороны от димера, а вторая — 5-ю связь с 3'-стороны. В результате их совместного действия образуется разрыв длиной примерно в 30 нуклеотидов [2].

Заделяют такую большую брешь ДНК-полимеразы δ или ϵ , но им нужен помощник PCNA. Более того, для работы первого фермента необходим еще один белок — репликативный фактор C (RFC). В присутствии АТФ он связывается с концом цепи ДНК, который подходит к брешу с 5'-стороны, затем присоединяется PCNA и образуется нестабильный тройной комплекс. После гидролиза АТФ конформация репликативного фактора меняется так, чтобы удерживать PCNA будто раскрытыми пальцами. Сам же этот помощник за счет временного размыкания своей кольцевой формы насаживается на дуплекс ДНК. К образовавшемуся стабильному комплексу присоединяется ДНК-полимераза δ , которая и застраивает большую брешь. Сходным образом работает комплекс с участием ДНК-полимеразы ϵ . Как видно, в устранении объемных повреждений

участников много, да и сам процесс довольно сложен.

Если в клетках гены активно транскрибируются (т.е. синтезируется матричная РНК), восстановление по типу вырезания нуклеотида протекает намного быстрее благодаря включению в процесс еще двух белков — CSA и CSB. У человека мутации в генах этих белков вызывают наследственное заболевание — синдром Кокэйна (Cockayne's syndrom, CS), при котором замедляется рост, повышается фоточувствительность, возникают катаракта, кариес зубов и дерматозы. Если во время транскрипции осуществляющая ее РНК-полимераза II наталкивается на повреждение в ДНК, то связывается с белками CSA и CSB. Тогда быстрая доставка ферментов репарации к месту поломки гарантирована, они залатают прореху, после чего транскрипция может завершиться.

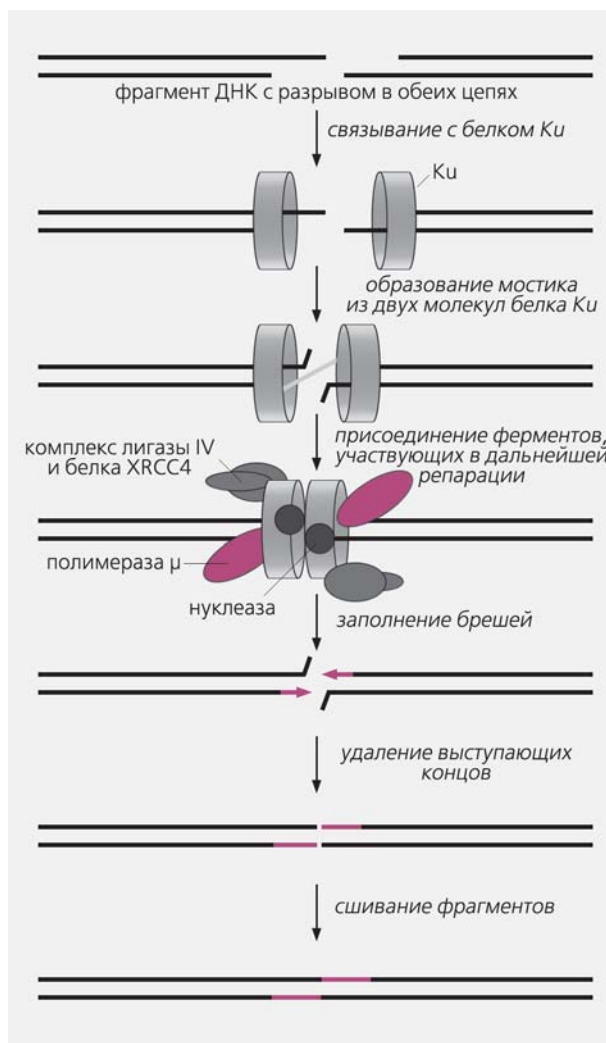
Ткацкие ошибки. Ошибки репликации и рекомбинация (обмен участками) между аллелями могут привести к появлению неспаренных нуклеотидов в цепи ДНК. Для устранения таких неполадок существует особый тип репарации — исправление ошибок спаривания (mismatch repair, MMR). Самый простой путь их коррекции — немедленно удалить неправильно встроенный нуклеотид с помощью все тех же ДНК-полимераз δ или ϵ (правда, с дополнительной — экзонуклеазной — активностью). Более сложный вариант осуществляют, совместно действуя, ферменты, которые способны вырезать поврежденный участок (ферменты эксцизионной репарации), и группа дополнительных белков. Они узнают одиночный неспаренный нуклеотид или петлю длиной до четырех нуклеотидов. (Мутации генов этих белков у человека вызывают предрасположенность к раковым заболеваниям.) Как только дефект обнаружен, нуклеазы удаляют его вместе с 50—500 нуклеоти-

дами с каждой стороны [3]. Огромную брешь застраивают те же полимеразы, зависимые от PCNA и потому способные синтезировать длинные фрагменты ДНК.

Регуляция. PCNA (о нем уже шла речь как о помощнике в репарации) и белок 53 (p53) — главные регуляторы в клетке, ответственные за ее судьбу. Первый белок, PCNA, участвует в репликации, второй — p53 — в транскрипции. А что делают эти белки, если во время копирования ДНК возникло повреждение, устранить которое должна ДНК-полимераза δ ? Белок 53 стимулирует синтез белка 21, а тот тормозит копирование ДНК и прохождение клеточного цикла. За время остановки репликации клетка успевает избавиться от дефекта. Как такое может быть, ведь репликация и репарация — это всегда синтез ДНК, в котором задействован один и тот же белок PCNA? Репликация останавливается из-за того, что p21 связывается с PCNA, значит, на репарацию его не будет хватать. Но нет: в области повреждения создается избыток PCNA, и оно успешно ликвидируется.

Некоторые ученые полагают, что при повышенном содержании p21 ресинтез ведет не полимеразы δ , а полимеразы β , которая не чувствительна к действию p21. Мы же, исходя из наших результатов, предполагаем, что смены ферментов не происходит, а просто ДНК-полимераза δ переключается с зависимого от PCNA заполнения брешей на независимый от этого белка синтез ДНК [1].

Когда структура ДНК восстановлена, ряд белков-регуляторов и ферментов, участвовавших в репарации, подвергаются гидролизу, который осуществляет 26S протеасома [4]. К таким белкам относится, например, белок XPC. Кроме того, сама протеасома или входящий в ее состав регуляторный комплекс 19S могут играть роль молекулярных шаперонов, способствуя



Последовательность реконструкции ДНК, в которой разорваны обе цепи, способом гомологичной рекомбинации (слева) и соединением негомологичных концов. Первый способ восстановления ДНК характерен для дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*), второй — для млекопитающих, в том числе для человека. Объяснения в тексте.

приобретению репаративными белками нужной конформации. В этом случае протеасома стимулирует коррекцию ДНК.

Сквозные разрывы

Сквозные разрывы в молекуле ДНК — это результат ионизирующего облучения, окисления или механического повреждения. Такие же поломки возможны в тех случаях, когда во время репликации на пути ДНК-полимераз встречается разрыв в од-

ной цепи. Но двухцепочечные разрывы могут быть и промежуточными продуктами нормальных биологических процессов (например, рекомбинации в развивающихся лимфоидных клетках). Если клетка не может заштопать сквозные разрывы, это приведет к дестабилизации генома, мутациям и возникновению раковых опухолей, а иногда к запуску апоптоза (запрограммированной гибели клетки). У эукариот существует два основных способа устранить двухцепочечные разрывы: гомо-

логичная рекомбинация (рекомбинационная репарация) и соединение негомологичных концов.

Если имеется гомологичный дуплекс ДНК, последовательность которого комплементарна хотя бы одному разорванному концу, возможна рекомбинационная репарация. У дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* это основной вариант, и зависит он от белка RAD52, а в случае мутаций гена *Rad52* соединяются негомологичные концы, т.е. включается второй вариант ре-

парации. У млекопитающих, напротив, второй способ главным образом и работает, а у дрожжей оба пути равнозначны [5]. Независимо от варианта репарации фрагменты разной длины просто вырезаются, последующее их восстановление не предусмотрено. Естественно, при этом нарушается первичная структура ДНК и теряется закодированная в удаленных участках информация. Но поскольку двухцепочечные разрывы сравнительно редки, клетке, по всей видимости, выгоднее пойти на такие жертвы, чем оставить ДНК разорванной.

Гомологичный обмен. Белок RAD52, от которого зависит рекомбинационная репарация у дрожжей, связывается, как только что упоминалось, с выступающими концами разорванных цепей ДНК, чем защищает их от действия экзонуклеаз. Затем RAD52 стимулирует присоединение белка RAD51 к тем местам, где находился сам. После этого один конец или оба внедряются в гомологичный дуплекс ДНК и происходит рекомбинация. Выступавшие из «прорехи» части ДНК вырезаются, и образовавшаяся брешь застраивается сразу с противоположных сторон, т.е. синтез фрагментов идет навстречу друг другу. В клетках дрожжей *S.cerevisiae* его осуществляют полимеразы δ и ϵ , которые нуждаются в PCNA и репликативном факторе (RFC), чтобы удержаться на оборванном конце ДНК и вести синтез. Правда, в застраивании брехи участвует еще и ДНК-полимераза α , единственная из многочисленных полимераз, способная инициировать синтез ДНК в репликативной вилке — там, где начинают расплетаться нити. Учитывая участие этого фермента в репарации сквозных разрывов ДНК, А.Холмс и Дж.Хэйбер предложили модель, по которой внедрение одного из разорванных концов в гомологичный дуплекс ДНК создает необычную репликативную вилку, где и синтези-

руются цепи [6]. Репликация завершается, когда второй конец достигает разрыва. Оказавшийся лишним «повисший» концевой участок второй цепи удаляется нуклеазой.

С гомологичной рекомбинацией связан еще один способ латания мест разлома. Разорванные концы ДНК по кусочку отрезаются специфической экзонуклеазой в обоих направлениях от разрыва до тех пор, пока не откроются комплементарные последовательности. Затем следует отжиг (спаривание) комплементарных участков и подрезание «висящих» негомологичных хвостов ДНК. Этот путь репарации также зависит от белка RAD52.

Соединение негомологичных концов. Починка этим способом ДНК, разорванной в обеих цепях, обеспечивается целым набором белков. Это белок Ku и комплекс, образованный ДНК-лигазой IV и продуктом гена *XRCC4* [7]. Все они консервативны у эукариот, включая дрожжи и млекопитающих. Несмотря на то, что в ходе репарации порванные концы соединяются напрямую, без использования матрицы для синтеза, процесс должен быть максимально аккуратным и точным. Для выполнения этого требования служит белок Ku, который представляет собой гетеродимер из субъединиц Ku70 и Ku80 (молекулярная масса 70 и 80 кДа соответственно). Недавно была исследована кристаллическая структура человеческого гетеродимера, а также структура его комплекса с фрагментом ДНК в 55 нуклеотидов. Оказалось, что гетеродимер Ku кольцом обвивается вокруг дуплекса ДНК, но при этом не контактирует с основаниями ДНК, а образует несколько связей с сахарофосфатным остовом и подгоняется пространственно к виткам спирали ДНК так, чтобы они расположились в кольце белка строго определенным образом. Такая конфигурация комплекса Ku и ДНК, очевидно, необходи-

ма для поддержания той структуры выступающих оборванных концов, которая пригодна для следующих этапов репарации.

А их несколько. Сначала на оборванные концы ДНК «надевается» по гетеродимеру, затем они связываются друг с другом, образуя мостик. Именно к нему присоединяются и выполняют свои функции остальные участники: ДНК-полимераза заполняет брехи, образовавшиеся в результате соединения негомологичных концов ДНК; нуклеаза подрезает выступающие концы, если они оказались излишне длинными; лигаза IV сшивает восстановленные фрагменты в единое целое. У некоторых эукариот обнаружена ДНК-полимераза μ , которая, видимо, и заполняет брехи в ДНК.

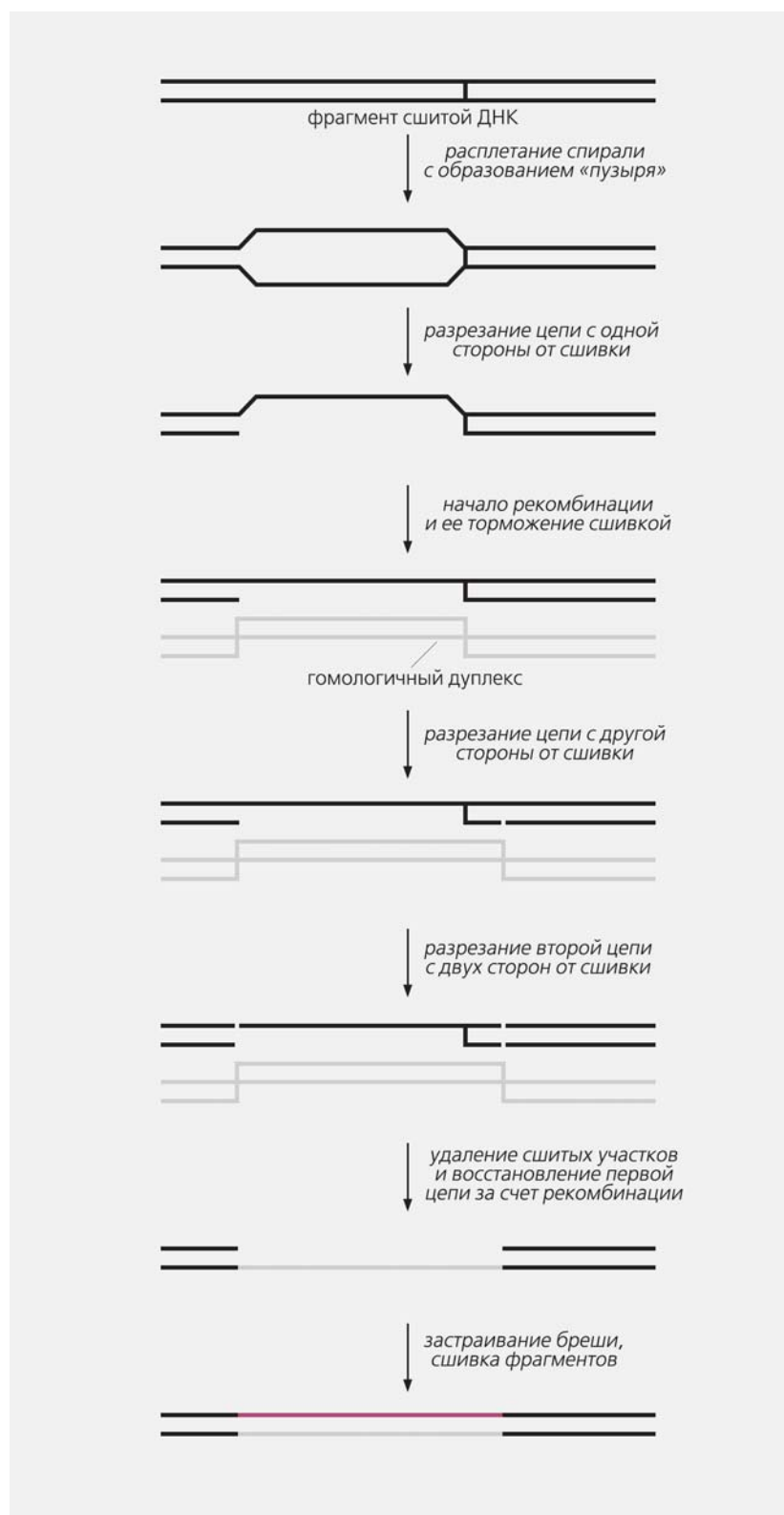
Когда сшиты цепи

Некоторые химические агенты, например, лекарства против рака (цисплатин, митомицин, псорален), вызывают образование межцепочечных сшивок ДНК [8]. Такие неполадки эукариоты способны устранять, но механизмы репарации недостаточно ясны. Известно, что у почкующихся дрожжей *S.cerevisiae* она зависит от ферментных систем, обеспечивающих, например, удаление тиминового димера (о чем уже было сказано), и от рекомбинации. Эта же ферментная система из семи белков (ХРА—ХРГ) работает, как мы уже отмечали, и при исправлении человеческой ДНК со сшитыми цепочками. Только происходит все еще сложнее. Вспомним: один из белков, ХРФ, разрезает цепь ДНК с 5'-стороны от повреждения на расстоянии 20(\pm 5) нуклеотидов, другой, ХРГ, — с 3'-стороны через 6(\pm 3) нуклеотидов от димера. Однако в ДНК человека эти эндонуклеазы вырезают 22—28 нуклеотидов в одной цепи ДНК и лишь с одной стороны от сшивки, не затрагивая сам дефект. Почему же человеческая нуклеаза не разрезает

цепь обычным образом, с обеих сторон от повреждения? Потому, полагают исследователи, что перед разрезанием двойная спираль должна быть расплетена (для этого служит фермент геликаза). Но расплести дуплекс она может не по соседству со сшивкой, а на отдалении от нее — на расстоянии $20(\pm 5)$ нуклеотидов с 5'-стороны. Расплетенный участок приобретает вид пузыря. Тогда-то одна эндонуклеаза, XPG, рвет цепь на положенном ей месте (т.е. ближе к дефекту), а другая, XPF, — приблизительно 27-ю фосфодиэфирную связь с 5'-стороны от сшивки [9]. Но это всего лишь первый этап репарации ДНК с межцепочечными сшивками.

Что же дальше? По одной из разработанных гипотетических моделей, дальше следует рекомбинация гомологичного дуплекса ДНК. Именно большая брешь в 22—28 нуклеотидов инициирует этот процесс. Но на стадии переноса цепи он блокируется, после чего специфическая эндонуклеаза разрезает ту же нить с другой стороны сшивки. Вновь образовавшийся интермедиат узнают компоненты «молекулярных ножниц» (системы эксцизионной репарации), и осуществляется второй раунд разрезания, теперь уже двойного, во второй нити. В результате высвобождаются сшитые олигомеры, и рекомбинация завершается. Таким образом, одна цепь оказывается репарированной рекомбинацией. Брешь во второй цепи застраивается ДНК-полимеразой с использованием первой в качестве матрицы.

Интересно отметить, что недавно у высших эукариот обнаружен белок, содержащий домены геликазы и ДНК-полимеразы. Мутации его гена значительно повышают чувствительность организма к агентам, вызывающим сшивки между цепочками ДНК. А поскольку и геликазная, и полимеразная активности необходимы на определенных этапах восстановления сшитой ДНК за счет рекомбинации, был



Гипотетическая схема устранения межцепочечных сшивок ДНК. Объяснения в тексте.

сделан вывод об участии этого белка в таком репарационном процессе. Впоследствии уникальный белок назвали ДНК-полимеразой θ .

Если повреждение не удалено

Итак, повреждения ДНК у эукариот бывают разнообразными. И хотя существуют эффективные механизмы устранения таких дефектов, иногда клетка не способна удалить их все до единого по тем или иным причинам. В этом случае на поврежденных участках матрицы репликация ДНК останавливается. До недавнего времени было непонятно, каким же образом осуществляется копирование ДНК на поврежденных участках, не устраняемых известными способами. Это выяснилось совсем недавно.

В последние несколько лет открыта новая группа ДНК-полимераз — ζ , η , κ , ι , μ , REV1, — которая как раз и предназначена для избавления от подобных повреждений [10]. Полимеразы ζ , η и μ осуществляют ресинтез ДНК, если в ней оказались неустраненными циклобутановые димеры между соседними тиминами; два последние фермента, а также полимеразы κ и REV1 — при сохранении окисленного гуанина и апуриновых сайтов, а полимеразы REV1 успешно застраивает еще и места с O(6)-

метилгуанином. Интересно, что ζ -полимераза «работает в паре» с полимеразой η или REV1, продлевая на несколько нуклеотидов пройденный ими поврежденный участок ДНК.

Перечисленные полимеразы во время репликации ДНК иногда встраивают правильные нуклеотиды против поврежденных участков матрицы, при этом структура ДНК не нарушается. В некоторых же случаях включаются ошибочные нуклеотиды, и тогда возникают мутации. В настоящее время новой группе ДНК-полимераз уделяется особое внимание, так как клеткам необходим энзиматический аппарат, способный синтезировать ДНК в ситуациях, когда репарация вырезанием неэффективна или невозможна, а риск накопления мутаций оправдан.

* * *

Первоначально механизм, предназначенный для устранения повреждений в ДНК, видимо, возник вместе с клеткой. По мере эволюции организмов он усложнялся, появлялись новые варианты. Насколько важен такой механизм, можно судить по тому, что в устранении поломок ДНК задействовано несколько десятков генов, и на производство ферментов репарации клетка тратит большую часть своих ресурсов. Надежность сохранения нуклеотидных последовательностей ДНК у высших эукариот очень вели-

ка: например, в геноме млекопитающего, насчитывающем около 3 млрд пар оснований, в клетках зародышевого пути за год подвергаются заменам лишь 10—20 оснований, а ведь повреждаются тысячи нуклеотидов. Особой надежности требует эмбриональный период: когда клетки активно делятся, необходимо как можно быстрее починить многочисленные поломки и сохранить генетическую информацию неповрежденной. Системы, благодаря которым восстанавливается природная структура ДНК, не только защищают геном от всевозможных повреждений, но и обслуживают генетические процессы в клетке. И если по какой-либо причине нарушен сам процесс репарации, это может обернуться серьезными неприятностями для клеток и всего организма. Так возникают повышенная предрасположенность к тем или иным заболеваниям, вплоть до онкологических, и тяжелые наследственные болезни. Знание механизмов, приводящих к различным заболеваниям, крайне необходимо практической медицине, чтобы облегчить поиск путей их лечения. И уж конечно, знание устраняет очередной пробел в постижении мира, будь он даже молекулярным. ■

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проекты 00-04-49183, 03-04-49127.

Литература

1. Sbarova N.P., Abramova E.B., Dmitrieva S.B., et al. // FEBS Lett. 2000. V.486. P.14—18.
2. Sancar A. // Annu. Rev. Biochem. 1996. V.65. P.43—81.
3. Wood R.D., Shivji M.K.K. // Carcinogenesis. 1997. V.18. P.605—610.
4. Абрамова Е.Б., Шарова Н.П., Карпов В.Л. // Мол. биология. 2002. Т.36. С.761—776.
5. Sekelsky J.J., Burtis K.C., Hawley R.S. // Genetics. 1998. V.148. P.1587—1598.
6. Holmes A.M., and Haber J.E. // Cell. 1999. V.96. P.415—424.
7. Haber J.E. // Trends Genet. 2000. V.16. P.259—264.
8. Kohn K.W. // Cancer Res. 1996. V.56. P.5533—5546.
9. Besshno T., Mu D., and Sancar A. // Mol. Cell. Biol. 1997. V.17. P.6822—6830.
10. Burgers P.M.J., Koonin E.V., Bruford E., et al. // J. Biol. Chem. 2001. V.276. P.43487—43490.

Пять великих распределений вероятностей

Б.А.Трубников, О.Б.Трубникова

«**К**ажется, дождь собирается, кажется, дождь собирается», — приговаривал Пятачок, стараясь отогнать пчел от улья, куда хотел добраться Винни-Пух, чтобы полакомиться медом. Так Пятачок хотел передать пчелам информацию о том, что вероятность дождя велика. С понятием вероятности, хотя бы на бытовом уровне, сталкивались все читатели нашего журнала, например играя в «орла» и «решку». Однако теория вероятностей — весьма точная наука, имеющая несколько замечательных достижений, с которыми мы и хотим познакомить читателей.

Азбука теории

Основные положения теории вероятностей достаточно просты. Если могут случиться два неких события «1» и «2» с вероятностями $w(1)$ и $w(2)$, причем эти события независимы («в огороде бузина, а в Киеве дядька»), то выполняются следующие соотношения:

— вероятность того, что произойдут оба независимых события, равна произведению $w_{1,2} = w(1)w(2)$;



Борис Андреевич Трубников, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института ядерного синтеза РНЦ «Курчатовский институт». Область научных интересов — теория плазмы, гидродинамика, происхождение космических лучей. Неоднократно публиковался в журнале «Природа».



Оксана Борисовна Трубникова, младший научный сотрудник лаборатории экспериментальной эмбриологии им.Д.П.Филатова Института биологии развития РАН им.Н.К.Кольцова. Изучает временные зависимости процессов деления клеток.

— вероятность того, что произойдет либо первое, либо второе событие, равна сумме $w(1 + 2) = w(1) + w(2)$;

— вероятность того, что произойдет какое-либо одно событие из полного набора N всех возможных независимых событий, равная сумме всех вероятностей $W_N = w(1) + w(2) + w(3) + \dots + w(N)$, составляет единицу (или 100%, если вероятности исчисляются в процентах).

В качестве примера используем эти простые формулы для анализа движения молекул газа. Пусть $w(E_1)$ есть вероятность того, что молекула обладает полной энергией E_1 , и $w(E_2)$ есть вероятность того, что другая молекула обладает энергией E_2 . Тогда произведение $w(E_1)w(E_2) = w(E_1 + E_2)$ будет вероятностью того, что имеют место сразу оба события.

© Трубников Б.А., Трубникова О.Б., 2004

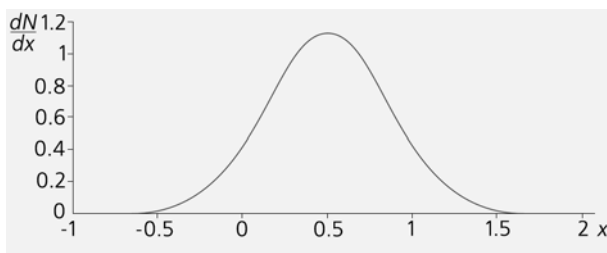


Рис. 1. Пример нормированного на единицу распределения Гаусса с параметрами $B = 4$ и $\langle x \rangle = 0.5$.

Решением этого функционального уравнения, которое имеет вид $F(x + y) = F(x)F(y)$, является экспонента

$$w(E) = \exp(a - bE), \quad (1)$$

где a и b — постоянные, и полученную формулу называют *распределением Максвелла—Больцмана*. Если пренебречь потенциальной энергией, обусловленной силой тяжести, то полная энергия молекулы сводится к ее кинетической энергии $E_{\text{кин}} = mv^2/2$, и тогда формула $w = a \exp(-\beta v^2)$, где $\beta = bm/2$, описывает распределение молекул по скоростям.

Для простоты рассмотрим случай, когда молекулы газа движутся вдоль оси x со средней скоростью течения $\langle v \rangle$. Тогда число молекул dN , у которых скорость v заключена в интервале от v до $v + dv$, будет равно

$$dN = a \exp[-\beta(v - \langle v \rangle)^2] dv, \quad (2)$$

где a — множитель нормировки.

Забыв про молекулы, запишем сходную общую формулу вида

$$dN = A \exp[-B(x - \langle x \rangle)^2] dx, \quad (3)$$

где A, B — постоянные.

Эту функцию (рис.1) называют *распределением вероятностей Гаусса*, и она имеет много различных применений.

Если, например, мы много раз измерим как можно точнее некую величину x , то найдем, что в среднем она равна $\langle x \rangle$. Но каждый раз наблюдается некоторое отклонение $x - \langle x \rangle$ от среднего значения, и тогда dN — это число попыток, при которых измеренное значение лежит в интервале от x до $x + dx$.

А теперь займемся решением квартирного вопроса, который, по словам Булгакова, так испортил москвичей.

В село въехали гусары...

Предположим, что полк гусар, участвуя в маневрах, въехал в большое село, и N гусар надо поселить на постоя в K квартир. Спрашивается: каким

числом способов C это может сделать начальник-квартирмейстер (теперь их называют «риэлтерами», т.е. реализаторами квартирных возможностей).

Для наглядности можно изображать людей N точками в круге-доме, разделенном перегородками на K секторов. При расчете вероятностей возможны три разных варианта.

Одного человека можно поселить в одну из K квартир, очевидно, K способами, а N человек — K^N способами. Но среди этих способов есть тождественные, отличающиеся лишь перестановками людей; их мы считаем равноправными. Число таких перестановок равно факториалу $N!$, и если их исключить, то всего получается $C_1 = K^N/N!$ способов размещения.

Теперь усложним задачу, считая, что это не просто поход гусар, а штабные учения, на которые съехались N генералов и их надо разместить по K квартирам. Но генералы не могут жить вместе, и каждому генералу нужна отдельная квартира. Для такой возможности число квартир K должно превышать число людей N , так что $K - N$ квартир останутся пустыми. Нетрудно сообразить, что в этом случае число возможных способов расселения будет равно биномиальному коэффициенту $C_2 = K!/(K - N)!N!$, поскольку $K!$ — это число перестановок квартир, $N!$ — число перестановок генералов, а $(K - N)!$ — число перестановок пустых квартир.

Наконец, рассмотрим вариант, когда квартир мало, и гусары согласились на то, что в одну квартиру квартирмейстер может поселить сколько угодно людей. Возвращаясь к наглядному образу круга, в котором есть K секторов с K перегородками между ними и N точек (людей), всего имеем $N + K$ «субъектов и объектов». Полное число возможных перестановок и тех и других, очевидно, равно факториалу $(K + N)!$. Но, во-первых, среди них есть $K!$ взаимных перестановок только перегородок, и, во-вторых, $N!$ взаимных перестановок только людей не меняют общую схему расселения. И если исключить такие перестановки, то число возможных способов расселения в этом третьем случае будет равно дроби $C_3 = (K + N)!/K!N!$.

Полезно отметить: если число квартир значительно превышает число людей ($K \gg N$), последние два варианта сводятся к первому. Это легко увидеть, если во втором случае приближенно положить $K! \approx (K - N)!K^N$, а в третьем — $(K + N)! \approx K!K^N$, что и приведет к первому случаю расселения гусар.

Поясним также, что отличие чисел $C_{2,3}$ от C_1 здесь получено в результате простой игры в перестановки N точек и K перегородок в круге. На самом деле и сама игра, и три варианта понадобились нам, чтобы учесть фундаментальное свойство тождественности элементарных частиц материи — фермионов и бозонов. Это чисто квантовое

свойство трудно передать на «языке гусар», поскольку никакой квартирмейстер не будет учитывать число возможных перестановок пустых квартир, а для наших дальнейших целей их важно принять во внимание.

Формула Стирлинга и квазиэнтропия

Будем считать числа N и K большими и для факториалов использовать известную приближенную формулу Стирлинга. Она получается, если сначала записать логарифм факториала в виде суммы $\ln M! = \ln 1 + \ln 2 + \dots + \ln M$, а затем заменить сумму на интеграл, что приближенно дает $M! \approx (M/e)^M$, где $e = 2.718281828\dots$ — основание натуральных логарифмов.

Тогда найденные выше три числа C_i ($i = 1, 2, 3$) можно записать в виде приближенных единообразных формул

$$C_i \equiv f_i^{-K}, f_1 = \left(\frac{n}{e}\right)^n, f_2 = n^n(1-n)^{1-n}, f_3 = \frac{n^n}{(n+1)^{n+1}}. \quad (4)$$

Здесь мы ввели аргумент $n = N/K$, который во всех трех случаях означает среднее число людей (частиц), приходящихся на одну квартиру (состояние).

Поскольку числа C_i велики, удобнее оперировать с их натуральными логарифмами $S_i = \ln C_i = -K \ln f_i$. В статистической физике логарифм числа способов распределения частиц по состояниям («квартирам») принято называть энтропией (от греч. entropia — переворот, перестановка, превращение — введено Р.Клаузиусом в 1865 г.). Мы здесь условимся вместо термина «энтропия» применять более общий термин «квазиэнтропия», т.е. логарифм большого числа способов распределения множества каких-либо объектов (или субъектов) по каким-либо определенным признакам. Например, слов по частоте их встречаемости в тексте и пр.

Очевидно, что для свободы выбора квартирмейстер-риэлтер хотел бы иметь в своем распоряжении как можно большее число способов размещения людей по квартирам, максимальную «квазиэнтропию». Распределение, для которого число способов реализации максимально, действительно самое интересное — оно будет наиболее вероятным. Но при поиске максимума C_i следует учитывать ряд ограничений.

Не числом единым

Далее будем считать, что квартиры различаются своим качеством, которое будем обозначать буквой ϵ (от англ. excellent — превосходный), полагая, для конкретности, что оно характеризует

бытовые удобства в данной квартире (в первую очередь число комнат, а также наличие телефона, ванны, холодильника, кондиционера и пр. — присутствие каждого из перечисленных удобств добавляет лишний балл к качеству ϵ). Разумно считать, что введенное выше среднее число людей в одной квартире зависит от аргумента ϵ , так что $n = N/K = n(\epsilon)$ (поскольку хорошие квартиры дорого стоят и доступны немногим).

Ранее мы рассматривали примеры с определенным набором людей и квартир (N_m, K_m) . Эту совокупность назовем малым набором и, присвоив ему индекс m , запишем его квазиэнтропию в виде $S_m = -K_m \ln f^{(m)}$. Далее рассмотрим большой набор, состоящий из множества малых m -наборов. Очевидно, в большом наборе теперь будет $N = \Sigma N_m = \Sigma n_m K_m$ людей (частиц), и мы будем считать фиксированным их полное число N .

Большой набор необходимо ввести в рассмотрение по той причине, что теперь мы условились учитывать не только количество, но и качество квартир ϵ_m (число их бытовых удобств). И суммарное число бытовых удобств по всему большому набору $E = \Sigma \epsilon_m N_m = \Sigma \epsilon_m n_m K_m$ мы также будем считать заданным. В статистической физике частиц качеству ϵ_m квартиры соответствует энергия m -состояния, а n_m приобретает смысл среднего числа частиц в m -состоянии. Таким образом, задание фиксированного полного числа бытовых удобств соответствует в физике частиц постоянству их суммарной полной энергии.

Далее замечаем, что число способов C реализации большого набора равно произведению чисел способов реализации всех малых наборов. Поэтому наша логарифмическая квазиэнтропия $S = \ln C$ большого набора равна сумме квазиэнтропий всех малых наборов:

$$S = \Sigma S_m = -\Sigma K_m \ln f^{(m)}. \quad (5)$$

И мы хотели бы найти максимум этой величины при двух дополнительных ограничительных условиях — при постоянстве полного числа людей (частиц) и постоянстве суммарного числа всех бытовых удобств (в физике — полной энергии большого набора), т.е. при условиях

$$N = \Sigma n_m K_m = \text{const}, E = \Sigma \epsilon_m n_m K_m = \text{const}. \quad (6)$$

Путем Лагранжа — к трем распределениям

Максимум некоторой функции при двух дополнительных условиях можно найти, пользуясь так называемым методом неопределенных множителей Лагранжа. Для этого составляем комбинацию (здесь $i = 1, 2, 3$)

$$\Phi = S + |\alpha| N - |\beta| E = -\Sigma K_m (\ln f_i + \sigma_m n_m), \quad (7)$$

где для краткости обозначено $\sigma_m = |\beta| \epsilon_m - |\alpha|$. И далее по рецепту Лагранжа решаем уравнения

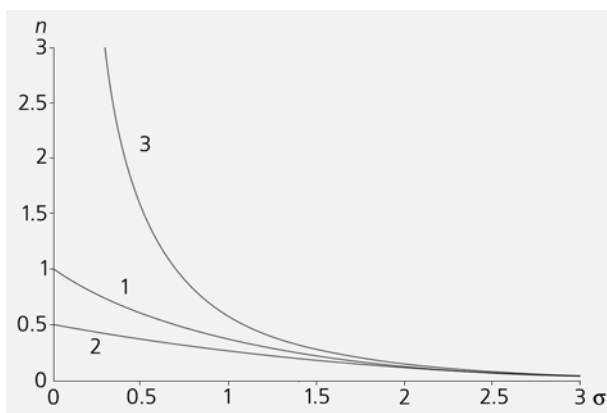


Рис.2. Распределения: $n_1(\sigma)$ — Максвелла—Больцмана; $n_2(\sigma)$ — Ферми—Дирака и $n_3(\sigma)$ — Бозе—Эйнштейна.

$-\partial\Phi/\partial n_m = 0$. Опуская для простоты индекс m , запишем эти уравнения в виде

$$(\ln f_i)' = -\sigma, \quad (i = 1, 2, 3), \quad (8)$$

где штрих означает производную по n . Нетрудно проверить (предоставим это читателю), что подставляя сюда три выражения (4) для трех функций $f_{1,2,3}(n)$ и вычисляя производные их логарифмов, найдем три распределения (рис.2)

$$n_1 = \frac{1}{e^\sigma}, \quad n_2 = \frac{1}{e^\sigma + 1}, \quad n_3 = \frac{1}{e^\sigma - 1}, \quad (9)$$

где $\sigma = |\beta|\epsilon - |\alpha|$, $|\beta| > 0$ и $|\alpha| > 0$ — положительные параметры и ϵ — качество квартиры.

В квантовой статистической физике величина n_m интерпретируется как среднее число частиц газа в m -состоянии, обладающем энергией ϵ_m , а комбинация σ записывается в виде $\sigma = (\epsilon - \mu)/kT$, где μ — химический потенциал газа, k — постоянная Больцмана и T — температура в градусах Кельвина.

Формулу для n_1 называют *распределением Максвелла—Больцмана*, для n_2 — *распределением Ферми—Дирака* для фермионов, а для n_3 — *распределением Бозе—Эйнштейна* для бозонов. Имеются в виду распределения газов из классических частиц (n_1) и квантовых ферми- (n_2) или бозе-частиц (n_3) по состояниям с разными энергиями ϵ .

При больших энергиях и температурах все три распределения совпадают (рис.2).

Какие города лучше?

Штабные учения с несколькими десятками генералов и даже полк гусар в несколько сотен сабель — все же не слишком большие множества, и в них могут не проявиться характерные статистические закономерности, свойственные большим множествам.

Поэтому в качестве большого множества рассмотрим некую страну с населением N человек, проживающих в K городах разного типа. Предположим, что в некотором городке проживает m людей и в стране имеется n_m городков с таким же числом жителей. Тогда, очевидно, имеют место выражения с суммами

$$K = \sum n_m = \text{const}, \quad N = \sum mn_m = \text{const}. \quad (10)$$

Эти суммы весьма похожи на два дополнительных условия (6), встречавшихся в трех ранее рассмотренных распределениях квартир по их качеству (или же элементарных частиц материи, где требовалось сохранение полного числа частиц N и их суммарной энергии E).

Сравнение пар уравнений (10) и (6) показывает, что показателем качества ϵ_m города следует считать просто число его жителей m . И если людей не расселяет по городам начальник-квартирмейстер, то сами люди, как правило, стремятся переехать из мелких городов в более крупные, где больше возможностей найти работу и дать детям хорошее образование.

Лишенные разума молекулы газа как бы сами (но под «руководством» теории вероятностей) «стремятся» создать наиболее хаотическое распределение по энергиям с наибольшим числом возможных способов C его воплощения и, тем самым, с наибольшей энтропией $S = \ln C$. Таким же правилом руководствуется и квартирмейстер-риэлтер, стремящийся иметь как можно более высокую квазиэнтропию, т.е. логарифм числа возможных способов расселения N людей по K квартирам с учетом показателя их качества.

И наоборот, разумно считать, что $N = \sum mn_m$ людей, расселяясь по $K = \sum n_m$ разным городам, в отличие от «глупых» молекул сами (как бы даже бессознательно, поскольку не знают наших формул) стремятся создать наименее хаотическое, но наиболее удобное для них распределение по городам.

Число возможных способов его реализации должно иметь вид дроби $C = k_0/k_1k_2$, где числитель, очевидно, равен $k_0 = N!$ — числу всех возможных взаимных перестановок местами проживания всех людей страны. При этом, однако, надо исключить случаи, когда m жителей одного города меняются местами, не покидая этот город. Число таких перестановок равно факториалу $m!$, а поскольку число городов с m жителями равно n_m , разумно считать, что первый множитель в знаменателе равен произведению $k_1 = \prod (m!)^{n_m}$.

Второй множитель k_2 в знаменателе можно получить из следующих, столь же очевидных соображений. Выше мы уже заметили, что показателем престижности города служит само число m его жителей. Далее замечаем, что mn_m есть число жителей всех городов m -ого типа, т.е. городов с населением m . Число взаимных перестановок таких жителей городов m -ого типа, очевидно, равно факториалу $(mn_m)!$, а для всех городов с разными

m число перестановок всех жителей страны равно произведению факториалов $k_2 = P(mn_m)!$.

Ему и следует приравнять второй множитель в знаменателе, чтобы исключить перестановки людей, живущих в равноценных городах и, следовательно, не имеющих причин, желания и времени заниматься переездами именно такого рода. Таким образом, для обсуждаемой здесь проблемы «кто где живет» число возможных способов распределения $N = \sum mn_m$ людей по $K = \sum n_m$ городам следует считать равным

$$C = \frac{k_0}{k_1 k_2} = \frac{N!}{P[(m!)^{n_m} (mn_m)!]}. \quad (11)$$

Конкурентная борьба

Если число городов ограничено, люди явно начинают конкурировать друг с другом, и их можно назвать конкурентами по проблеме переездов в более крупные города. Используя формулу Стирлинга, перепишем формулу (11) для числа способов в приближенном виде

$$C \approx \frac{(N/e)^N}{P(m^2 n_m / e^2)^{mn_m}}, \quad (12)$$

и далее найдем квазиэнтропию, т.е. логарифм этого числа способов

$$S \approx \sum mn_m (1 + \ln N - 2 \ln m - \ln n_m). \quad (13)$$

При этом мы учли, что число людей выражается формулой $N = \sum mn_m$.

Как уже пояснялось ранее, в отличие от поведения «глупых» молекул с максимальной хаотизацией их энергетических состояний, у сообщества всех разумных живых существ — не только людей, но и животных и даже бактерий океанского планктона — можно ожидать стремления к минимуму такой квазиэнтропии. По-видимому, это можно рассматривать как закон жизни сообществ живых существ — биоценозов: их организация не может быть хаотической, а должна быть максимально упорядоченной и построенной по строго иерархическим, но естественным принципам. С аналогичной ситуацией мы сталкиваемся в кибернетике, где информация рассматривается как отрицательная энтропия и считается, что полный хаос лишен информации.

Минимум квазиэнтропии (экстремум, как и максимум) должен достигаться при выполнении двух дополнительных условий (10). Поэтому по рецепту Лагранжа вновь составляем комбинацию с неопределенными множителями a и b :

$$\begin{aligned} \Phi &= S + aK + bN = \\ &= \sum n_m [m(1 + \ln N - 2 \ln m - \ln n_m) + \sigma], \end{aligned} \quad (14)$$

где $\sigma = a + bm$ не зависит от n_m . И тогда нетрудно проверить (предоставим это читателю), что урав-

нения Лагранжа $\Phi'_{n_m} = 0$ приводят к соотношению $\ln(m^2 n_m) = b + \ln N + (a/m)$. Из него мы сразу получим для числа городов с населением m

$$n_m = \frac{A}{m^2} \exp \frac{a}{m}, \quad (15)$$

где $A = Ne^b$ — постоянная нормировки. Часто представляет интерес так называемый интегральный спектр, т.е. число городов с населением больше данного:

$$N(m) = \int_m^{m_{\max}} n_m dm = \frac{A}{a} (\exp \frac{a}{m} - \exp \frac{a}{m_{\max}}). \quad (16)$$

Мы пришли к так называемому распределению конкурентов, характерному для объектов, которые соревнуются между собой за обладание неким ограниченным ресурсом [1]. В пределе $a \rightarrow 0$ это распределение переходит в чисто гиперболическое

$$N(m) = A \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m_{\max}} \right). \quad (17)$$

В качестве иллюстрации формулы (17) на рис.3 приведены распределения городов США по их населенности, выявленные за 140 лет общего роста населения страны. С хорошей точностью они следуют гиперболическому закону с зависящим от времени t коэффициентом $N(m) = A(t)/m$.

Для некоторых других множеств «конкурентов» истинные (наблюдаемые) интегральные спектры могут несколько отличаться от чисто гипер-

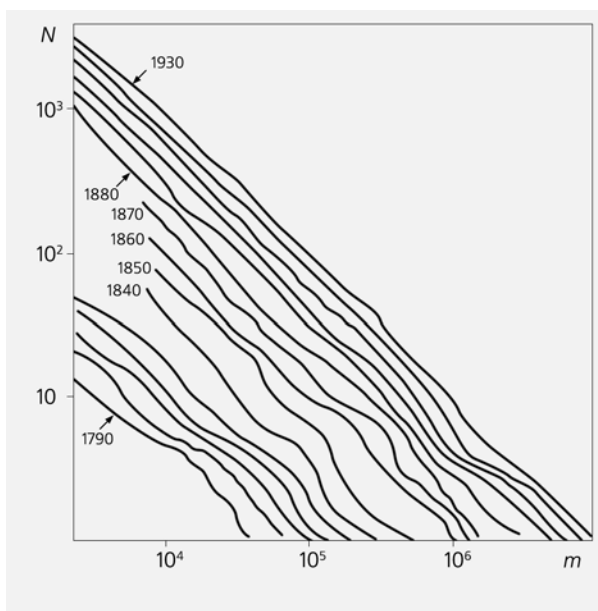


Рис.3. Интегральные спектры распределения числа городов США по числу их жителей с 1790 по 1930 г. через каждые 10 лет.

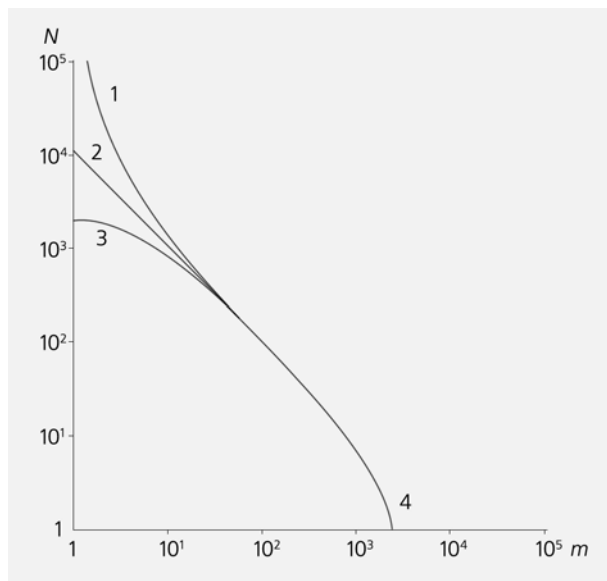


Рис.4. Три примера интегральных спектров общего распределения конкурентов, построенных по формуле (16). Выбрана нормировка $A = 10^4$. Параметр a определяет левый конец спектра, параметр m_{\max} — правый конец. Показаны варианты $a = 5$ (1); 0.1 (2); -5 (3) и завал правого конца при $m_{\max} = 10^{3.5}$.

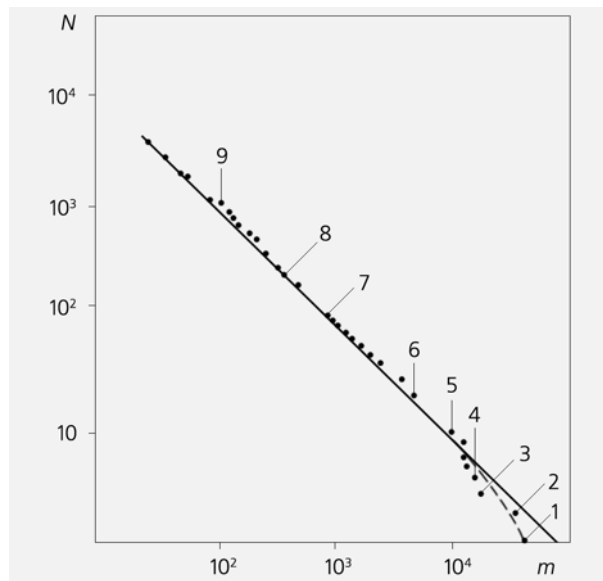


Рис.5. Интегральный спектр распределения слов по частоте их встречаемости в тексте из 1 056 382 слов. 1 — в, 2 — 4, 3 — не, 4 — на, 5 — а, 6 — как, 7 — каждый, 8 — огромный, 9 — красота.

болических. В этих случаях для сравнения наблюдаемых спектров с предсказываемыми «теорией конкурентов» следует пользоваться полной формулой (16), содержащей три параметра A , a и m_{\max} . Подбором параметра a можно подправить левый конец спектра, а подбором параметра m_{\max} — правый конец, как это показано на рис.4.

Формулы (15–16) применимы не только к городам, но и к другим множествам «конкурентов», частные случаи которых рассматривались и ранее многими авторами. Так, гиперболическое распределение слов по частоте их встречаемости в тексте обычно называют законом Эсту—Ципфа—Мандельброта (рис.5). Распределение богатей по их богатствам в древних государствах (да и в современных) принято называть законом Парето. Распределение ученых по числу опубликованных ими статей — законом Альфреда Лотки. Чтобы не замыкаться на человеческой деятельности, проиллюстрируем указанную зависимость картинками для океанического биоценоза (рис.6) и малых космических тел (рис.7). Около 500 различных примеров гиперболических распределений приведено в книге [2]. Поэтому распределение конкурентов вполне заслуженно можно поставить в один ряд с четырьмя великими распределениями. Обычно обсуждаются лишь эмпирические закономерности конкретных множеств конкурентов, хотя попытки теоретического обоснования распределения конкурентов также предпринима-

лись и ранее. Краткий обзор этих усилий приведен, в частности, в [3]. Но, по нашему мнению, многие из этих попыток не были столь последовательны, как изложенный выше подход, основанный, по существу, на полной аналогии с термодинамикой частиц, достигнутой путем введения общего понятия качества и квазиэнтропии множеств конкурентов. Ряд примеров множеств конкурентов приведен в наших работах [1, 3, 4], где рассмотрено около 20 примеров таких распределений.

Отметим, что такие множества должны состоять из достаточно большого числа объектов, и (следуя А.В.Бялко [5]) их удобно называть «широкими распределениями», в отличие от сравнительно «узких» распределений гауссовского типа. В них по существу отсутствует понятие среднего значения, вокруг которого группировалась бы основная масса объектов. Этим свойством множеств конкурентов резко отличаются от множеств, подчиняющихся нормальному распределению Гаусса $n_m \sim \exp[-a(m - \langle m \rangle)^2]$. В чисто гиперболическом распределении (при $a \rightarrow 0$) полная «масса» множества равна интегралу $M = \int m n_m dm = A \ln(m_{\max}/m_{\min})$. Как видим, она одинаковым логарифмическим образом определяется и верхним, и нижним пределами спектра. Эта слабая логарифмическая зависимость от обоих пределов указывает на устойчивость таких распределений. Подобное свойство оказывается особенно важным

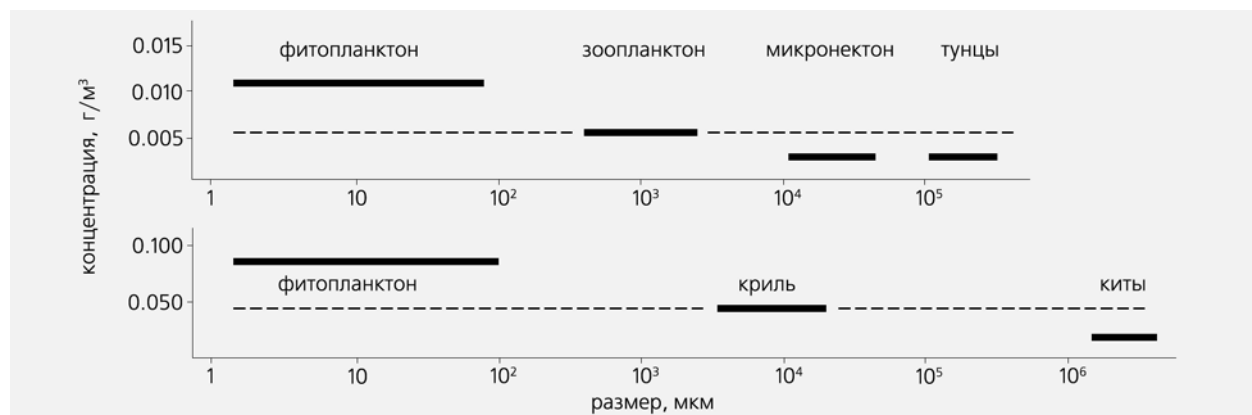


Рис. 6. Распределение обитателей Мирового океана по размерам (данные канадских ученых). По вертикальной оси указана концентрация «живого вещества» с размерами из данного интервала (размер оценивается по диаметру шара, равного по объему рассматриваемой особи). Все организмы распределены так, что на каждый десятичный интервал приходится практически одинаковый суммарный вес. Это соответствует гиперболическому распределению (17).



Рис. 7. Интегральный спектр распределения малых космических тел по их массам, различающимся на 30 порядков. N — число данных тел в 1 см^3 .

для различных социально-экономических проблем, в целом называемых «макроэкономикой» (распределение доходов, структура различных фирм и пр.).

Во всех случаях можно указать пару дополнительных условий, при которых вычисляется экстремум квазиэнтропии. Для перечисленных примеров ими будут: длина текста и длина словаря; сумма всех финансов и число владельцев; число всех выбранных для анализа ученых и массив ста-

тей; число всех рыб (на кубометр воды) и число рыб с определенным весом в стандартных логарифмических интервалах; число всех космических тел, отобранных для анализа (число видов тел здесь не учитывалось, что соответствует пределу $\alpha \rightarrow 0$ в формулах).

Во что играет природа?

Конечно, к формуле (16), содержащей три параметра, можно относиться и просто как к удобной аппроксимационной формуле (как говорится — не более того). Однако полезно подчеркнуть, что и все четыре «главных» для неживой природы распределения также содержат по три параметра. Для распределения Гаусса — это коэффициент нормировки, среднее значение $\langle x \rangle$ и $1/\beta$ — среднеквадратичное отклонение (полуширина кривой Гаусса). Для распределений $n_{1,2,3}$ — это параметры α , β и коэффициент нормировки.

Заметим также, что все три главных для физики частиц распределения $n_{1,2,3}$, в сущности, получаются из «игры в перестановки» всего лишь с двумя числами N и K , точнее со слагающими их частями n_m , комбинируемыми тремя разными способами. Образно можно сказать, что именно простота и естественность их трех комбинаций с перестановками приводят к столь фундаментальной роли этих трех распределений в неживой природе. Аналогично этому и четвертое распределение — распределение конкурентов — получается из «игры в перестановки» с теми же двумя числами и теми же составляющими их частями n_m . По нашему мнению, это позволяет считать последнее столь же основополагающим для природы, как и три первых распределения. По-видимому, природа

(или теория вероятностей) просто не может «придумать» какую-либо еще одну новую «игру в перестановки» с теми же числами N , K и их частями n_m .

Здесь, конечно, имеется в виду новая «игра», которая имела бы какой-нибудь разумный смысл. Например, простая принудительная (не обоснованная разумными соображениями) перестановка числителей со знаменателями во всех трех фундаментальных случаях $n_{1,2,3}$ не изменит их окончательных результатов, поскольку это привело бы лишь к изменению знаков логарифмических членов в энтропии, но ее экстремум (с заменой максимума на минимум) дал бы те же распределения $n_{1,2,3}$. (Быть может, наши читатели сами попробуют изобрести новую игру в перестановки с теми же числами n_m ?)

Именно указанная фундаментальность распределения конкурентов (как результат игры больших чисел), по-видимому, и приводит к необычайно широкой его распространенности как в живой, так и в неживой природе. С этой точки

зрения, например, часто используемое так называемое логнормальное распределение (распределение Гаусса с логарифмическими аргументами) можно рассматривать лишь как удачную аппроксимацию, поскольку оно не выводится из каких-либо общих положений, подобных использованным нами. Иногда считают (см., например [6]), что распределение Гаусса (3) описывает ситуацию с множествами аддитивных величин (с суммой вероятностей), а логнормальное распределение относится к множествам мультипликативных величин. Но ведь в логнормальном распределении фигурируют не просто логарифмы, а квадраты логарифмов в экспоненте, и эти логарифмы введены искусственно, просто для «охвата» широких интервалов аргументов. Поэтому в логнормальное распределение нельзя разумным образом ввести учет двух дополнительных условий (6) и (10), составленных из сумм. Так что мы вполне справедливо поставили в ряд со знаменитыми распределениями именно распределение конкурентов. ■

Литература

1. Трубников Б.А. Закон распределения конкурентов // Природа. 1993. №11. С.3—13.
2. Кудрин Б.И. Введение в технетику. Томск, 1993.
3. Трубников Б.А., Румынский И.А. // Докл. АН СССР. 1991. Т.321. №2. С.270.
4. Трубников Б.А. О законе распределения конкурентов // Природа. 1995. №11. С.48—50.
5. Бялко А.В. Конструктивность закона конкуренции // Природа. 1993. №11. С.14—19.
6. Карасев Б.В. Логарифмически-нормальное распределение // Природа. 1995. №11. С.41—48.

Космические исследования

Солнце вредит спутникам

4 ноября 2003 г. на Солнце произошла мощная вспышка, вызвавшая сильнейший поток частиц высокой энергии. Она была завершающей в серии ей подобных, происходивших в двух чрезвычайно активных областях Солнца¹. Эти явления заметно повлияли на физическую обстановку в окрестностях Земли, что зафиксировали, в частности, приборы на борту спутника «GOES». Потоки высокоэнергетических частиц были настолько интенсивными, что бортовые приборы ИСЗ «ACE»

¹ Что случилось с Солнцем? // Природа. 2004. №10. С.80.

(«Advanced Composition Explorer»), предназначенного для изучения химического состава околоземной среды, на время зашкалило, и измерения прервались.

Из Японии пришли сообщения, что с ее спутником «ADEOS-2» была прервана связь; временно она была нарушена и с японским спутником «Coda-ma», используемым для ретрансляции солнечно-геомагнитных данных с других ИСЗ. Аналогичные трудности испытывало оборудование спутника «SMART» («Small Missions for Advanced Research in Technology»), запущенного на переходную орбиту Европейским космическим агентством.

У ряда коммерческих геостационарных спутников-ре-

трансляторов телевизионных сигналов снизилось энергопитание из-за повреждения солнечных батарей частицами высоких энергий.

Earth System Monitor. 2003. V.14. №1. P.3 (США).

Следить за «погодой» на Солнце

Европейское космическое агентство намерено в начале 2006 г. вывести на околоземную орбиту миниатюрный спутник «PROBA-2» («Project for On-board Autonomy» — «Проект бортовой автономии»), которому предстоит стать родоначальником спутников, способных автономно принимать решения в зависимости от обстановки в окружа-

ющей среде и процессов на объекте наблюдения. Как и его предшественник «PROBA-1», этот спутник будет иметь массу всего около 100 кг, а размеры не превысят обычную стиральную машину.

В научную задачу «PROBA-2» входит наблюдение за солнечной активностью, получение детальных изображений светила и его атмосферы, фотографируемой в УФ-спектре с интервалами не более 1 мин. Оборудование, разработанное бельгийскими учеными и инженерами, позволит заблаговременно обнаруживать взрывную активность на Солнце (приборы уже доказали свои возможности в этой сфере).

Spaceflight. 2003. V.45. №12. P.492 (Великобритания).

К Юпитеру — на атомной энергии

Инженеры и научные сотрудники НАСА США присоединились к разработке зонда «JIMO» («Jupiter Icy Moons Orbiter» — «Орбитальный аппарат для исследования ледяных спутников Юпитера»), старт которого намечен примерно на 2012 г. Его отличительная особенность состоит в том, что для питания двигателей будет использована атомная энергия.

Энергия атома уже применялась с 1960-х годов в доставленном на Марс посадочном отсеке «Viking» или на зонде «Cassini», работающем сейчас у Сатурна. Но радиоактивный распад использовался лишь для питания научных приборов, и суммарная потребляемая мощность радиоизотопных источников питания была невелика. Теперь же сами расстояния до объекта исследований, обширность и длительность научной программы требуют куда больших бортовых энергопотребностей.

Если «Cassini» несет на борту около 600 кг научных прибо-

ров, то новому зонду предстоит взять в полет примерно 1,5 т. Четверть этой массы предназначена для посадки на юпитерианский спутник Европу.

Проект «JIMO» — часть более обширной программы «Prometheus», тоже основанной на использовании атомной энергии. «JIMO» рассматривается как прототип будущих аналогичных зондов, предназначенных для исследования Сатурна, Нептуна и ряда удаленных от Земли астероидов.

Science. 2004. V.303. №5658. P.614 (США).

Стихийные бедствия: взгляд из космоса

С ноября 2002 г. в космосе работают малые искусственные спутники Земли, предназначенные для обнаружения природных катастроф. Первым был «ALSAT-1», созданный по заказу Алжира в Англии и запущенный с помощью российской ракеты «Космос» с космодрома Плесецк. За ним последовали «Nigeria Sat-1», турецкий «BLISAT-1» и британский «DMC» («Disaster Monitoring Constellation»). В 2005 г. к этой «эскадре» должен присоединиться китайский спутник. Аппараты могут следить за извержениями, волнами цунами, крупными пожарами и другими подобными явлениями, происходящими на площади 600 км² при разрешающей способности приборов 32 м. Каждый участок земной поверхности просматривается ежесуточно, тогда как у прежних коммерческих ИСЗ повторное наблюдение совершается через 16 сут.

Spaceflight. 2003. V.43. №12. P.492 (Великобритания).

Космическая эскадра пополняется

Европейское космическое агентство заключило контракты с пятью компаниями на раз-

работку принципиально новых аппаратов для изучения Вселенной. Один из них — «ExoMars» — должен быть создан в 2009 г. Он станет флагманом космической эскадры «Auroga», которой предстоит выйти на околомарсианскую орбиту и спустить на поверхность Красной планеты марсоход массой 200 кг; его орбитальный отсек послужит ретранслирующей станцией для связи с Землей.

Другой аппарат, именуемый «EVD» («Earth re-entry Vehicle Demonstrator» — «Демонстратор, возвращаемый на Землю»), должен начать испытываться с 2007 г. Он станет одним из участников проекта «Arrow» («Стрела»), предназначенного для разработки методики и технологии возврата на Землю капсулы с образцами марсианских пород сквозь плотные слои земной атмосферы. Основная операция самой миссии запланирована на 2011 г.

Spaceflight. 2003. V.45. №12. P.490 (Великобритания).

Пути к астероидам

На июнь 2006 г. назначен запуск американского космического зонда «Dawn» («Заря»), который будет направлен к двум крупнейшим астероидам — Весте и Церере. Этот эксперимент — часть более обширной программы «Discovery» («Открытие»), предназначенной для исследования планет Солнечной системы. Своей цели «Dawn» достигнет в следующем десятилетии и в течение года будет обращаться вокруг этих небесных тел.

После того как космический аппарат «CONTOUR», предназначенный для исследования комет, был безвозвратно потерян, специалисты НАСА принимают меры для увеличения надежности зонда «Dawn». Вместе с тем необходимость экономии средств вынуждает сократить

планируемый срок обращения аппарата вокруг Цереры и Весты с 22 до 12 мес. Пришлось отказаться от бортового магнитометра, что исключает измерения, которые могли бы подтвердить или опровергнуть гипотезу существования на Церере подобия океана.

Тем не менее планетологи и астрономы возлагают немалые надежды на эту космическую миссию. Руководит проектом К.Рассел (C.Russel; Университет штата Калифорния в Лос-Анджелесе).

Science. 2004. V.303. №5664. P.1595 (США).

Астрономия

Обсерватория встает из пепла

В начале 2003 г. ведущая австралийская астрономическая обсерватория Маунт-Стромло, расположенная рядом со столицей страны Канберрой, была почти полностью уничтожена подступившим к ней лесным пожаром. В середине 2003 г. правительство выделило более 6 млн долл. на восстановление и усовершенствование обсерватории, в первую очередь — входящей в ее состав станции слежения за искусственными спутниками Земли, которая считается одной из лучших в мире.

В начале 2004 г. обсерватория вступила в строй. Ныне она способна отслеживать в месяц не менее 400 прохождений спутников в зоне своего действия. Маунт-Стромло снабжена мощным лазером с телескопом диаметром почти 1 м, а также высокоточной системой определения времени с помощью атомных часов и автоматической регистрации получаемых данных. Они поступают в распоряжение Международной службы лазерного слеже-

ния и Международной службы наблюдения за вращением Земли. Среди научных задач, решаемых с ее участием, следует отметить слежение за спутником «LAGEOS» («Laser Geodynamics»), что дает возможность измерять самые незначительные движения литосферных плит, а также смещение оси вращения нашей планеты и ее полюсов.

AusGeoNews. 2003. №71. P.4 (Австралия).

Гидрология

Как противостоять наводнениям?

Британское правительство поручило специально созданной комиссии во главе с инженером-гидрологом Э.Эвансом (E.Evans; Университет Глазго) оценить степень опасности наводнений и необходимые меры защиты от них. Выводы, к которым пришли 60 членов комиссии, неутешительны.

Среднегодовые убытки от последних «набегов» моря на Британские о-ва составили около 2.4 млрд долл. США. В ближайшие десятилетия эта сумма может возрасти в 20 раз. Причины тому — глобальное потепление, ведущее к подъему уровня Мирового океана, экономический рост и урбанизация с сопутствующим строительством жилых и промышленных объектов в прибрежных районах. Ныне в зоне подобного риска живут примерно 1.6 млн британцев. Чтобы обезопасить их от буйства водной стихии и ликвидировать возможные последствия, расходуется около 3.9 млрд долл. в год. Если государство не примет мер, вскоре в опасной зоне окажется до 3.6 млн человек, а соответствующие расходы к 2080 г. возрастут до 48 млн долл.

Воспрепятствовать особенно тяжким последствиям может отвод высоких морских волн в специально сооруженные бассейны. Это предпочтительнее, чем позволить воде переполнять дренажную систему, часто неспособную справиться с избыточным стоком. Кроме того, необходимо углубить дно одних рек и расширить русла других, чтобы увеличить их вместимость для паводковых вод, а также поднять прибрежные земляные валы, в первую очередь вдоль Темзы для защиты Лондона.

Science. 2004. V.304. №5671. P.662 (США).

Подводная археология

Где располагались древние верфи?

До недавнего времени подводные археологи сталкивались с большими трудностями в определении точного месторасположения верфей античного времени: корабельную древесину доставляли из различных районов, а изучение пород деревьев часто не давало определенных ответов. С.Мюллер (S.Muller; Университет Монпелье, Франция) считает, что вопрос можно решать на основании анализа пыльцы, сохранившейся в смолах, которые использовались для крепления корпуса судна.

Новый метод позволяет локализовать места постройки трех судов, потерпевших кораблекрушение у мыса д'Агд (43°15'с.ш., 3°30'в.д.). Обнаруженная пыльца платана восточного, или чинары (*Platanus orientalis*) указывает, что деревья привозили из Восточной Италии — единственного района Средиземноморья, где они тогда произрастали.

Sciences et Avenir. 2004. №685. P.20 (Франция).

Кисло-сладкие озера у Полярного круга

С.И.Шапоренко

Освободившиеся от покровного ледника позже других, берега Белого моря до сих пор испытывают поднятие, на фоне которого происходят и более резкие подвижки отдельных блоков земной коры. В результате трансформаций береговой линии возникают небольшие прибрежные водоемы, постепенно теряющие водную связь с морем. До недавнего времени на них почти не обращали внимания: океанологи — из-за малой величины и изолированности от моря, озероведы — из-за полусоленой воды и отсутствия рыбы.

В 1994 г. сотрудник кафедры океанологии МГУ А.Н.Пантюлин измерил температуру и соленость воды в двух небольших водоемах недалеко от университетской Беломорской биологической станции (ББС) на южном берегу Кandalakшского залива. При отборе проб был отмечен запах сероводорода, свидетельствующий об анаэробных условиях, не характерных для северных регионов. В 2001—2003 гг. водоемы исследовала экспедиция, в которой кроме специалистов из нашего института (автора, Г.С.Шилькрот и С.Н.Голубчикова) принимали участие сотрудники различных организаций, а также студенты МГУ.

© Шапоренко С.И., 2004



Сергей Иванович Шапоренко, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института географии РАН. Область научных интересов — гидрология и гидрохимия озер прибрежной части морей.

На карте Беломорья

Население ББС именует наши водоемы озерами, одно — Кисло-сладким (на топографической карте оно Полупресное), второе — На Зеленом Мысу. Расположены они недалеко от пос.Приморского. Административно это Карелия, к северу через пролив — уже Мурманская обл., примерно в километре к югу от поселка проходит Северный полярный круг.

Максимальные высоты окрестной территории, приуроченной к северной оконечности Прибеломорской низменности, не превышают 100 м. Рельеф представляет собой чередование овальных, округлых холмов

с довольно крутыми склонами и уплощенными вершинами. Плоские межхолмовые понижения заняты многочисленными болотами и озерами. Современные геоморфологические изменения на побережьях Кandalakшского залива вызваны главным образом поднятием коры со средней скоростью 5 мм/год.

Озеро Кисло-сладкое в 2 км к востоку от поселка имеет овальную форму около 100 м в длину и 60 м в ширину. Оно образовалось в результате отчленения акватории пролива между небольшим, заросшим соснами безымянным островом и северным коренным берегом п-ова Киндо. В прошлом дно пролива с двух сторон огражда-

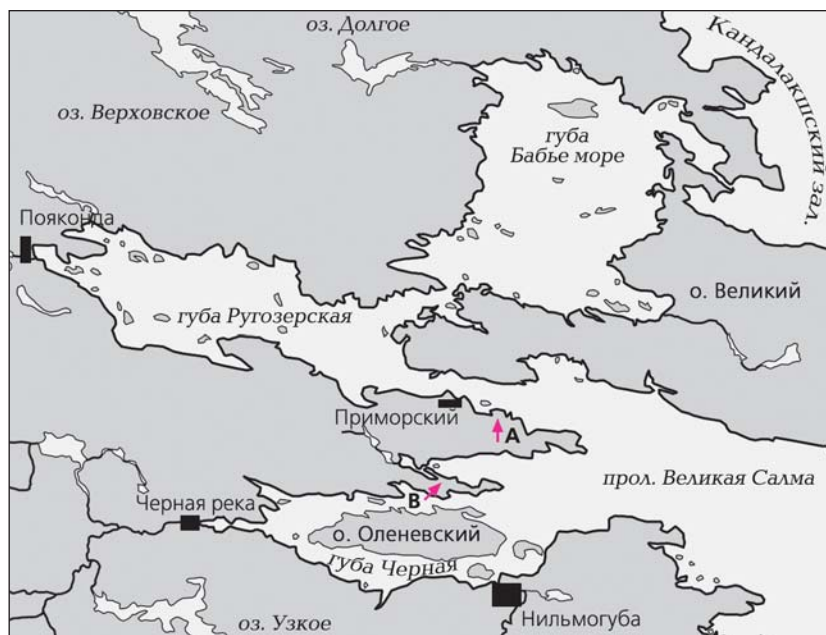


Схема района работ и расположения озер. А — Кисло-сладкое озеро (координаты: 66°32.9'с.ш.; 33°08.1'в.д.). В — оз.На Зеленом Мысу (координаты: 66°31.8'с.ш.; 33°05.7'в.д.).

ли два подводных порога, которые из-за поднятия суши вышли на поверхность и образовали перемычки, отделяющие акваторию озера от пролива Великая Салма. Одна из перемычек заросла травой и, по-видимому, затапливается только в периоды снеготаяния при переполнении озера. Хотя еще 25–30 лет назад ее прорезала небольшая протока, соединявшая озеро с проливом. Вторая — через которую проходит слабый поверхностный водообмен с Кандалакшским заливом во время приливов и в настоящее время (не более 1–1.5 л/с), — сложена окатанными валунами и галькой. Скорее всего, существует и слабый подземный водообмен через тело всего северного берега озера, южный берег которого заболочен. Здесь в озеро с крутого склона полуострова стекает еле заметный, но не пересыхающий ручеек. Расход воды в нем в период наблюдений не превышал 0.01 л/с. Однако и такой приток в силу небольших размеров озера имеет су-

щественное значение в формировании его гидрологического режима. Возможно, существуют и подводные родники, распределяющие озерные воды.

Второе озеро — На Зеленом Мысу — находится примерно в 6 км к югу от пос.Приморский. У него почти такие же размеры, как и у первого, однако более округлая форма. Образовалось оно благодаря отчленению от Кислой губы лагуны, вдававшейся в глубь полуострова. В настоящее время от залива его отделяет каменная перемычка, через которую во время полной воды приливов морская вода поступает в озеро, а в остальное время — вытекает из него. Во время отлива 8 августа 2002 г. расход поверхностного стока из озера по визуальной оценке был около 10 л/с. Западный берег озера заболочен, однако пресного поверхностного притока нам обнаружить не удалось. На южном берегу, более высоком и крутом, чем другие, имеется хорошо выраженное сухое русло временного водотока. Он берет начало

из небольшого и сильно заболоченного озера в средней части мыса. Судя по данным о солёности 1994 г., озеро периодически подпитывается пресными подземными водами. Таким образом, гидрологический и гидрохимический режим оз.На Зеленом Мысу формируется пока в условиях более интенсивного водообмена с Кандалакшским заливом при гораздо более слабом распределяющем влиянии вод суши.

Чаши обоих водоемов имеют воронкообразную форму. Средняя глубина оз.Кисло-сладкого 1–1.5 м, оз.На Зеленом Мысу около 2 м, а максимальные глубины соответственно 4.6 и 6.2 м. Координаты наиболее глубоких точек озер, полученные с помощью навигатора системы GPS, соответственно 66°32.910'с.ш.; 33°08.068'в.д. и 66°31.806'с.ш.; 33°05.704'в.д. Они отмечаются в небольших по площади (примерно 3×4 м) впадинах почти в центрах озер. Глубину озер во впадинах, заполненных жидким илом и разлагающейся органикой, определить очень трудно. Отраженный сигнал эхолота неустойчив, а механический лот постепенно засасывает.

При взгляде на озера с берега обращают на себя внимание обширные маты из отмерших нитчатых водорослей, дрейфующие под действием ветра. У наветренных берегов они образуют сплошные поля. По тому, как они ведут себя в данный момент, можно судить, откуда дует ветер. В теплый период года в районе в целом преобладает северо-восточное и восточное его направление. Леса на берегах замедляют скорость ветра над озерами, тем самым ослабляя перемешивание их вод. В августе 2003 г. на оз.Кисло-сладком мы наблюдали редкий случай, когда задул сильный и устойчивый северо-западный ветер, совпадавший по направлению с длинной осью озера и, не встречая препятствия, над заросшей перемычкой проникал на акваторию озера. В результа-



Оз.Кисло-сладкое в 2001 г.

Здесь и далее фото автора

те в водоеме возникла циркуляция в виде одного гигантского (в сопоставлении с его размерами) вихря циклонического характера. Огромный круг из плавающих водорослей на водной глади оконтуривал его границы. Как оказалось впоследствии, эти нитчатые водоросли — один из главных структурообразующих элементов экосистем озер, в значительной мере определяющий их особый гидрохимический облик.

Географическое положение озер определяет климатические условия формирования их гидрологического режима. К ним относятся продолжительная зима со среднесуточной температурой января -11°C , относительно короткое влажное лето (с максимальным количеством осадков в августе). Средняя температура июля $+14^{\circ}\text{C}$. Крайние сроки возможного выпадения снега — июнь и сентябрь. За-

мерзание озер с продолжительным ледоставом (с октября по май) приводит к их полной изоляции от моря. Причем суровость зимы в каждый конкретный год имеет значение для гидролого-гидрохимической ситуации и в течение всего лета.

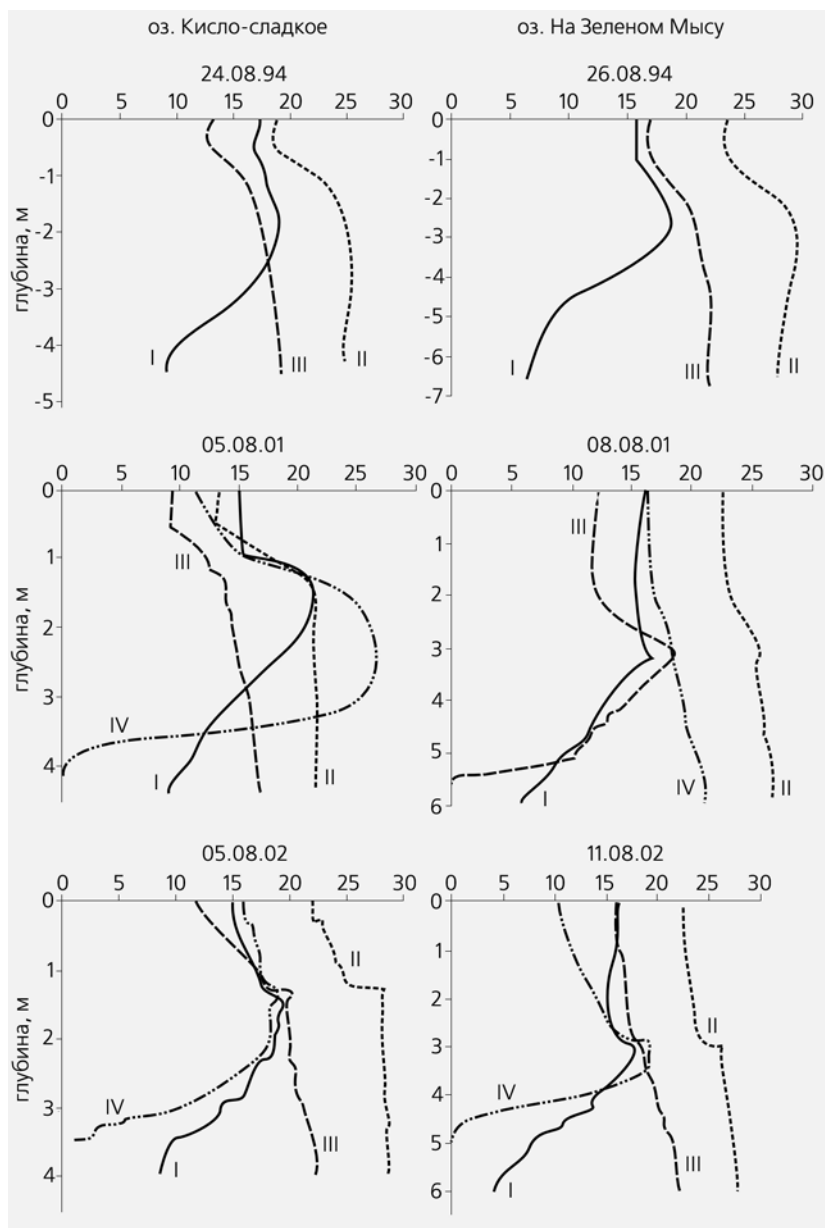
В летние периоды наших экспедиционных работ дневная температура воздуха, как правило, поднималась до $17-19^{\circ}\text{C}$. Но после прохождения атмосферного фронта 13–14 августа 2001 г. похолодало до $8-10^{\circ}\text{C}$. Наблюдалась переменная облачность без существенных (кроме 13–14 августа 2001 г.) осадков.

Особенности озер под водой

Теряющие связь с морем озера (их еще называют отшнуровывающиеся) находятся на са-

мой границе с сушей. Их специфические геоморфологические черты — воронкообразная форма дна с впадиной и окружающие ее обширные мелководья. Влияние суши проявляется в разном опреснении озер, быстро меняющемся во времени. В итоге в водоемах формируется уникальная гидролого-гидрохимическая обстановка, отличающаяся от характеристик Кандакшского залива.

Одна из гидрологических особенностей озер — их термохалинная структура, в которой можно выделить поверхностный однородный опресненный слой (эпилимнион), прогретый слой высоких градиентов плотности (металимнион) и слой, относительно однородный по солености с равномерным понижением температуры (гиполимнион). Эти слои прослеживаются в вертикальных распределениях характеристик.



Вертикальное распределение температуры, °C (I), солености, ‰ (II), условной плотности (III) и растворенного кислорода, мг/л (IV) в озерах.

На первый взгляд, мелководность озер, маленькие размеры и водообмен (более значительный у оз. На Зеленом Мысу) с заливом должны были бы привести к выравниванию значений солености с поверхностной водной массой Кандалакшского залива, распространяющейся до глубин 10–15 м. Однако в гипolimнии озер постоянно наблюдаются более высокие зна-

чения солености, а максимальные величины — летом, в верхней половине этого слоя. Эти факты говорят о том, что, скорее всего, на промежуточных глубинах должен существовать источник, повышающий соленость озер в гипolimнии и имеющий солевой состав вод, почти одинаковый с Белым морем. Им могут быть грунтовые рассолы мелководий, образу-

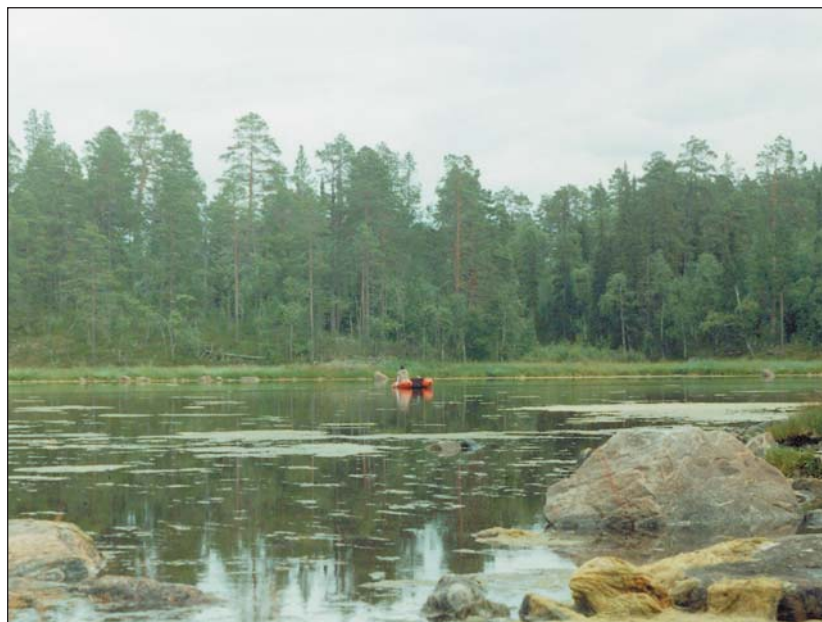
ющиеся при промерзании озер зимой и отдающие соли из донных отложений в воду в летний период. При этом чем интенсивнее и дольше шел процесс льдообразования, тем больше должно образоваться рассола, а возможно, и выкристаллизоваться из него солей. Другими словами, чем холоднее и продолжительнее была зима и чем меньше выпадало осадков, тем интенсивнее должно происходить осолонение озер летом. Таким образом, характер летней вертикальной структуры солености в озерах во многом закладывается зимними погодными условиями.

К особенностям температурной стратификации озер относятся образующийся в летний период теплый промежуточный слой и сравнительно низкие температуры (по сравнению с водами Кандалакшского залива) глубже 3.5 м в Кисло-сладком озере и 4.5 м в оз. На Зеленом Мысу. Максимальной разницы между температурой поверхностного и промежуточного слоев была 6.14°C в оз. Кисло-сладком 5 августа 2001 г., значительно меньше (1.3–2.5°C) — в оз. На Зеленом Мысу. Если в прибрежных водах Кандалакшского залива у поверхности температура держится около 12–13°C, в поверхностном слое озер она повышена до 15°C, а в подповерхностном — свыше 20°C. Величина вполне комфортная для купания не только жителей Севера.

Существование такого слоя объясняется значительным прогревом воды в озерах от дна мелководий, поглощающих солнечные лучи и имеющих интервал глубин 1.5–2.5 м в Кисло-сладком озере и 3–3.2 м в оз. На Зеленом Мысу. Галоклин, расположенный выше этих глубин, препятствует развитию конвекции и теплопередаче в эпилимнион. Находящаяся ниже, во впадинах, вода прогревается очень слабо из-за того, что солнечные лучи в них до дна не проникают. Это позволяет вертикальной стратификации сохранять устойчи-



Оз. На Зеленом Мысу. В отличие от Кисло-сладкого его сообщение с морем более свободно.



Отбор проб на оз. На Зеленом Мысу.

вость. Горизонтальное перемешивание отсутствует, так как сам рельеф дна изолирует находящуюся в ямах воду. Прогрев сверху за счет диффузии, вероятно, должен сопровождаться поступлением и солей, выделяющихся из дна. Это сохраняет устойчивость вод. Таким образом формируются температурные профили с ярко выраженными слоями температурных макси-

мумов на самых глубоких станциях озер.

Ниже прогретого слоя температура с глубиной резко понижается и в придонной воде впадин падает до $3-5^{\circ}\text{C}$. Такие значения в открытой части залива наблюдаются на глубинах ниже 13–15 м. Получается, что в ямах вода очень плохо прогревается, а ее зимние свойства консервируются на все лето.

Среди гидрохимических особенностей озер в первую очередь нужно отметить уникально высокие концентрации растворенного кислорода в промежуточном слое, достигавшие на некоторых станциях оз. Кисло-сладкого — 26–28 мг/л. Причина — бурное развитие нитчатых водорослей (при отсутствии большого количества фитопланктона). Однако столь высо-



Крупный циклонический вихрь на оз.Кисло-сладком, образованный устойчивым и сильным северо-западным ветром.

кую концентрацию кислорода создавало не только цветение водорослей, но и скачок плотности, препятствовавший перемешиванию подповерхностных вод с поверхностными. Поэтому концентрации кислорода в эпилимнионе были гораздо ниже, типичными для «цветущего» водоема. В озерах скачок плотности играет роль пробки в бутылке газировки или шампанского, которая не дает газам улетучиваться.

Еще одна важная гидрохимическая особенность озер — анаэробные условия в центральных впадинах, возникающие при разложении тех же отмерших нитчатых водорослей, скапливающихся в понижениях. Их здесь гораздо меньше, чем плавающих по поверхности озер, но размеры ям невелики, что создает весьма большую концентрацию разлагающейся органики. Переход от аэробного слоя со сверхвысокими концентрациями кислорода к анаэробно-

му происходит в тонком слое. Вертикальный градиент уменьшения содержания кислорода в Кисло-сладком озере 5 августа 2001 г. достигал 30 мг/л-м, что крайне редко для природных водоемов.

Отсутствие кислорода в придонных водах ям сопровождается появлением в них сероводорода, концентрация которого может достигать весьма высоких величин. Максимальное количество (более 90 мг/л) мы наблюдали в оз.На Зеленом Мысу, что более чем в 10 раз превышает содержание сероводорода в глубинных черноморских водах.

Его концентрации в оз.Кисло-сладком были ниже, чем в оз.На Зеленом Мысу, но также превышали черноморские в 1.5—2 раза. Такое содержание сероводорода свидетельствует об интенсивном процессе сульфатредукции в анаэробных слоях озер, в то же время в открытых акваториях Белого моря концентрация восстановленной серы весьма

низка. Помимо сульфатредуцирующих, в пробах воды и донных отложений неоднократно находили и тионовые (сероокисляющие) бактерии.

Вертикальное положение границы анаэробного слоя преимущественно определяется интенсивностью фотосинтеза. Вероятно, поэтому в 1994 г. в оз.На Зеленом Мысу граница с анаэробным слоем поднималась на 1.6 м, а в Кисло-сладком до 2.5 м, т.е. до скачка плотности (при ледоставе анаэробные условия здесь охватывают весь столб воды).

Некоторое нарушение стратификации наблюдалось при уже упомянутом циклоническом вихре на оз.Кисло-сладком, вызвавшем перемешивание вод. Вертикальная структура частично нарушалась поступлением на мелководья линз относительно прохладной воды с дефицитом кислорода. Однако после того, как ветер утих, стратификация вод быстро восстановилась.

Уникально высокие концентрации растворенных в воде газов вызывали большие трудности при отборе проб. Для определения содержания кислорода титрованием по методу Винклера пробы отбирают в специальные склянки, при заполнении которых газ сразу же выделялся на стенках, искажая объем. Со сходной ситуацией постоянно сталкиваешься при разливе шампанского и других газированных напитков. Если пробы отбирались насосом, даже небольшое падение давления вызывало интенсивную дегазацию, которая эффектно проявлялась в шлейфе пузырьков из конца шланга.

Из других гидрохимических параметров обращает на себя внимание нехарактерное для беломорских вод высокое содержание в воде соединений азота. Так, максимум концентрации аммонийного азота (17.5 мг N/л) зафиксирован в придонных водах впадины в оз.На Зеленом Мысу. Много аммония в поверхностных слоях (0.4–0.6 мг/л), что также объясняется существованием сероводородной зоны, имеющей контакт с вышележащей аэробной. Для вод Белого моря еще в 1980-х годах была зафиксирована тенденция роста общего содержания азота и его соединений, что может быть связано с выносом с суши, а также с общим загрязнением прибрежных вод Кандалакшского залива.

Что касается фитопланктона в исследованных озерах, то, по данным Т.Н.Ратьковой из Института океанологии РАН, он обычен для прибрежных вод Белого моря в конце лета. В верхнем слое вод оз.Кисло-сладкого в значительном количестве обнаружены одноклеточные сине-зеленые водоросли. В оз.На Зеленом Мысу высоко содержание пресноводных зеленых водорослей. Учитывая большую распресненность первого, подобное соотношение видов в озерах было несколько неожиданным.



Экспресс-анализ проб воды на берегу моря.



Будущее кисло-сладких озер — Вонючие губки.

Биомасса фитопланктона была высокой, однако не достигала уровня цветения и не могла вызывать наблюдавшегося резкого повышения концентрации кислорода в толще воды. Таким образом подтверждается предположение о том, что экстремально высокие концентрации кислорода образуются за счет развития нитчатых водорослей.

Видовой состав зоопланктона беден и в обоих озерах представлен характерными для поверхностных слоев воды Кандалакшского залива эвригалинными видами. По наблюдениям Н.М.Перцовой (биологический факультет МГУ), в Кисло-сладком и оз.На Зеленом Мысу его численность в 2001 г. составила 799 и 6033 экз./м³, а биомасса

9.9 и 122.5 мг/м³, что соответствует открытым прибрежным районам Кандалакшского залива. В первом озере все рачки прозрачные, без пищи в кишечнике, во втором — с темным содержанием. Получается, что в Кисло-сладком озере экологические условия для зоопланктона гораздо хуже, чем в оз. На Зеленом Мысу. Похоже, здесь более свободный водообмен с открытыми акваториями залива способствует относительно быстрому восстановлению численности и биомассы.

* * *

Прямых аналогов такой гидролого-гидрохимической структуры, как у наших озер (во всяком случае, для акваторий Белого моря), в научной литературе мы не обнаружили. Правда, можно предположить, что сходные условия существуют в озере в районе Долгой губы на Соловецких о-вах [1]. Тем не менее, отдельные черты геоэкосистем наших озер обнаруживаются в других прибрежных водоемах, формирование которых происходит в сходных условиях. Это оз. Могильное на о. Кильдин в Баренцевом море, для которого характерен слой промежуточного максимума температуры в летне-осенний период под верхней границей скачка солености [2,

3], прибрежный водоем Устричный между Вудс Холлом и Фалмсом в Массачусетсе [4]. Это озеро такое же мелководное, как беломорские, и имеет сходную конфигурацию дна и анаэробные условия в двух воронкообразных понижениях. Похожие условия и в некоторых озерах, примыкающих к Черной губе на Новой Земле [5].

Таким образом, мелководные озера Беломорья имеют уникальный режим. Существование впадин на дне и обширных мелководий, затрудненный водообмен с морем, опресняющее влияние вод суши создают в них экстремальные значения гидрологических и гидрохимических параметров. Регулярные заморы приводят к тому, что в них нет каких-либо специфических для солоноватых вод видов фито- и зоопланктона. Вероятнее всего отсутствуют и постоянные обитатели ихтиофауны.

Что ждет озера в будущем? Продолжающееся поднятие суши приведет к окончательной потере их связи с морем. В случае достаточного притока вод с суши они станут проточными и пресными. Таких водоемов очень много на побережье Белого моря, в районе ББС — Ершовские озера. Если пресного притока не будет, они будут мелеть

и постепенно зарастут. При сохранении соотношения водного баланса пресных и морских вод, как, например, в оз. Кисло-сладком, они постепенно будут заиливаться, превращаясь в так называемые Вонючие губки. Остатки таких деградировавших водоемов и лагун также нередки на беломорских побережьях. А пока озера существуют в современном виде, гидрологические и гидрохимические параметры их воды в полной мере будут оправдывать название «кисло-сладкие».

Исследование подобных водоемов представляется актуальным и в более широком плане, заключающемся в возможности их возникновения в будущем при падении уровня Мирового океана в результате глобального похолодания климата (такой непопулярный ныне сценарий климатических изменений тоже должен учитываться).

Так или иначе, исследования кисло-сладких озер, которые были бы невозможны без помощи сотрудников и директора Беломорской биологической станции МГУ им. Н.А. Перцова Г.Г. Новикова, стоило бы продолжить. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-05-64778.

Литература

1. Нинбург Е.А. Долгая губа: изоляция естественная и искусственная // Природа. 1990. №7. С.43—49.
2. Реликтовое озеро Могильное / Гуревич В.И., Цееб Р.Я. Л., 1975.
3. Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997—2000 гг.). Мурманск, 2002.
4. Emery K.O. A Coastal Pond, Studied by Oceanographic Methods. N.Y., 1969.
5. Крепс Е.М. Гидрологический очерк Черной губы на Новой Земле и реликтовых озер, к ней примыкающих // Исследования морей СССР. Л., 1927. Вып.5. С.10—80.

Восточное побережье Приморья — провинция расслоенных гранитов

Г.А.Валуй

Если посмотреть на геологическую карту Приморья, можно увидеть цепочку красных бусин вдоль побережья Японского моря — так геологи обозначают массивы гранитов и вулканические породы Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса, который представляет собой часть гигантской планетарной структуры, протянувшейся на тысячи километров от Чукотки до Южного Китая.

Когда-то здесь через трещины в земной коре выливались на поверхность кубометры раскаленной лавы, палящие тучи застилали небо. В глубинах Земли гранитные магмы образовали интрузивные тела, которые затем геологические процессы вывели на земную поверхность, а морские волны, разрушая их, создали живописные бухты и скалистые мысы. Граниты легко разрушались, превращаясь в пески, образуя великолепные пляжи.

Но для геологов сотни километров скалистых берегов Японского моря — это книга о истории Земли почти без пропущенных страниц. (В отличие от остальной территории Приморья, покрытой таежной растительностью, где скальные обнажения горных пород изредка встречаются в долинах рек и на вершинах сопок.)

© Валуй Г.А., 2004

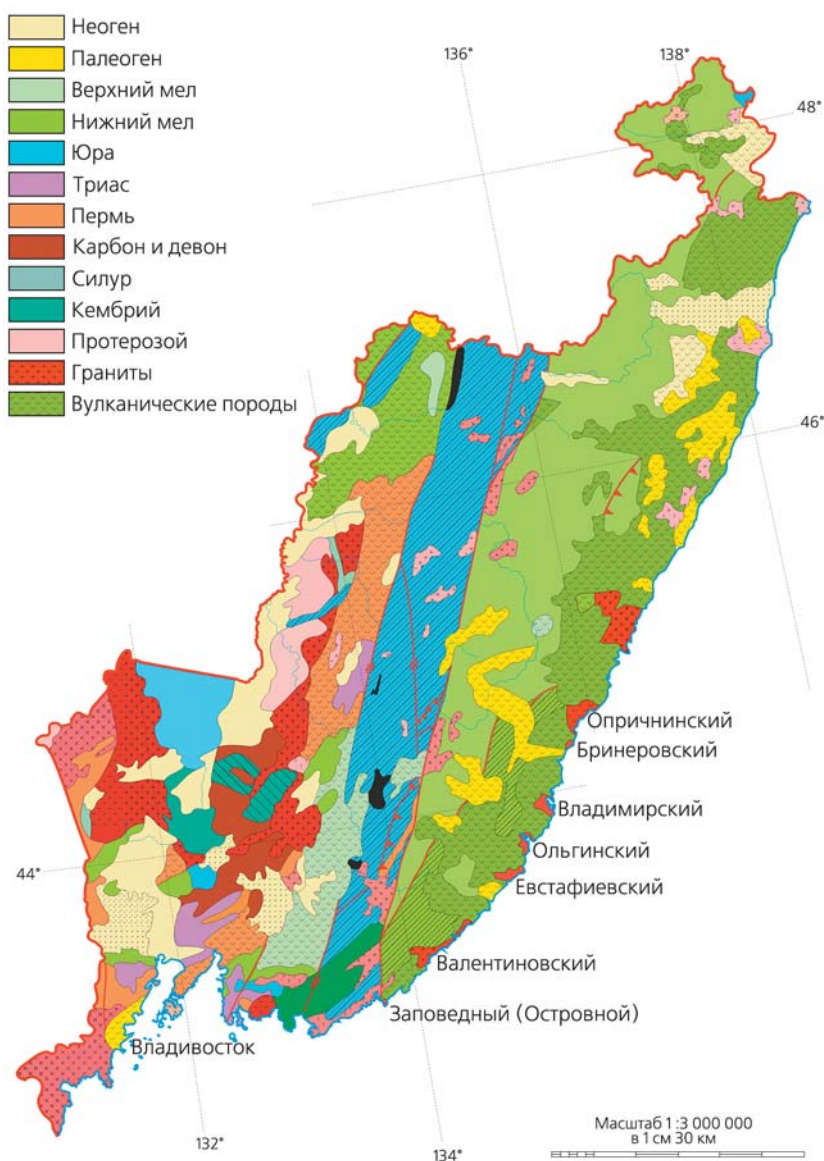


Галина Александровна Валуй, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Дальневосточного геологического института ДВО РАН. Область научных интересов — дифференциация магматических расплавов, петрология гранитов, минералогия полевых шпатов.

Изучение геологических процессов, непростых самих по себе, усложняется фрагментарностью наших наблюдений. Вот почему работа на побережье Японского моря позволила собрать уникальный материал по петрологии (т.е. генезису) гранитоидов, представляющий интерес не только для Приморья, но и для фундаментальной науки в целом.

За 30 лет моих экспедиционных сезонов с С.А.Коренбаумом и другими коллегами — сотрудниками Дальневосточного геологического института ДВО РАН — пройдены сотни километров вдоль побережья Японского моря, от Тернея до Посыета, на моторных лодках и на веслах,

на автомашинах и пешком по скалам, пляжам и «непропускам». В маршрутах отобраны тысячи образцов пород, зарисованы и сфотографированы сотни обнажений — для науки, а для души — сотни слайдов, фотографий, акварелей, чтобы поделиться с друзьями радостью открытия неповторимой красоты этих мест. Мы не были пионерами в изучении гранитоидов побережья Приморья. Нашим детальным исследованиям предшествовали работы сотрудников Института геологии и минералогии рудных месторождений РАН М.А.Фаворской и Ф.К.Шипулина, опубликованных солидные монографии [1, 2].



Размещение гранитоидных интрузивов Восточного Сихотэ-Алия.

Гранитоидные интрузивы Прибрежной зоны образуют единый пояс северо-восточного простирания и отделены друг от друга полями верхнемеловых эффузивов. Все эти массивы, судя по геофизическим и геологическим данным, имеют лакколитоподобную (в виде гриба) форму и достигают 20–60 км в длину при ширине 5–10 км. Тела, расположенные в зоне пересечения прибрежного разлома

с поперечными, в плане изометричны (Ольгинский и Владимирский массивы).

Четких геологических фактов, свидетельствующих о глубине формирования интрузивов, нет. Есть приблизительные подсчеты мощности перекрывающих пород, которая колеблется от 3000 до 5000 м, т.е. максимально возможная глубина должна быть не более 3–5 км. Самый северный — Опричин-

ский интрузив — формировался на глубине менее 3 км, а южнее расположенные Владимирский, Ольгинский и Валентиновский — на глубине более 3 км. Сложены они различными породами, из которых каждая последующая прорывает предыдущую с образованием на контактах зон закалки, полос темноцветных минералов, гнезд пегматитов. Всего отмечено пять различных фаз гранитов и гранодиоритов. Возраст пород, определенный К-Аг методом, составляет 74–86 млн лет для диоритов, 60–65 млн лет для гранодиоритов, 50–59 млн лет для гранитов, 41–43 млн лет для миароловых и щелочных гранитов и 34–39 млн лет для аплит-пегматитов.

Граниты содержат многочисленные включения микрогранодиоритов, ритмично-расслоенных гранитов, биотит-роговообманковых пород, шлировых пегматитов и др. Детальные исследования гранитоидов Прибрежной зоны привели меня к выводу, что такие неоднородности — результат сложных процессов, происходивших в магматической камере до окончательного затвердевания расплава и сохранившихся благодаря относительно быстрой (по геологическим масштабам) кристаллизации.

Среди этих процессов распознаются: кристаллизационная дифференциация, флюидно-магматическое и диффузионно-магматическое расслоение первичных расплавов, а также расслоение остаточных расплавов, богатых летучими компонентами.

Кристаллизационная дифференциация

В гранитоидах признаки расслоения расплавов наблюдаются гораздо реже, чем в основных породах. Выражаются они преимущественно ориентированным расположением темноцветных минералов [3, 4], изме-



Южный контакт гранитов Опричининского интрузива с вмещающими эффузивами (вблизи м. Сигнальный).

Здесь и далее фото автора

нением состава минералов по разрезу интрузива [5] и ориентированным ростом отдельных фаз (чаще кварца) в позднемагматическую стадию [6].

По мнению Л.Уэйджера и Г.Брауна [4], из-за высокой вязкости гранитных расплавов в них вряд ли могло происходить погружение или всплывание кристаллов. Однако мне удалось наблюдать ритмичную расслоенность в гранитном интрузиве, обусловленную распределением и осаждением плагиоклазов [7, 8].

Зона расслоенных гранитов фиксируется в центральной части южного поля гранитов в Опричининском интрузиве, который расположен между бухтами Опричник и Китовое Ребро (к северу от пос.Каменка Дальнегорского р-на). Массив состоит из трех частей. Северная

и южная сложены гранитами, а центральная — диоритами. Граниты прорывают диориты и вмещающие риолиты, что хорошо видно в береговых скалах. Южное поле гранитов Опричининского массива представляет собой прекрасно обнаженный лакколит зонального строения. Приконтактная фация (4 км по горизонтали) сложена гранофировыми гранитами, содержащими округлые включения мелкозернистых пород гранодиоритового состава (автолиты), которые сменяются ритмично-расслоенными гранитами протяженностью 3 км, представляющими собой внешнюю часть зоны конвективного перемешивания. Центральная часть лакколита автолитов не содержит и состоит из равномернозернистых гранитов с гнездами пегматитов и аплит-пегматитовых

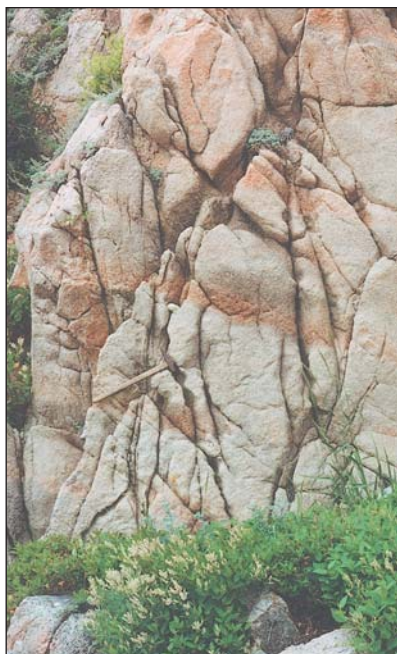
тел*, т.е. здесь, где происходило конвективное перемешивание расплава, наблюдается нормальная эволюция гранитного расплава, заканчивающаяся пегматитами.

Зона ритмичного расслоения проявляется в чередовании светлых (10–20 см) и темносерых (60–90 см) полос. Цвет их обусловлен соотношением участков с гранофировой или гранитной структурой и порфировидных выделений плагиоклаза. Размер и количество последних увеличивается в нижних частях ритмов. Количество плагиоклаза в светлых (верхних) частях ритмов 12–14 об.%, а в темных — 14–20 об.%. Содержание гранофировых кварц-калишпатовых сростков колеблется в светлых полосах от 81 до 84 об.%, а в темных — от 77 до 81 об.%. Количество биотита и роговой обманки в целом пропорционально объему кварц-полевошпатовых сростков. Содержание кварца в графических сростках из светлых полос более низкое (30–40) по сравнению со сростками из темно-серых полос (44–45 об.%).

Состав плагиоклаза в ядрах зональных кристаллов из светлых полос более кислый (An_{35-36}), чем из темно-серых (An_{42-44}), и размер зерен заметно меньше (0.5–1.0 мм и 1.0–2.5 мм соответственно), что свидетельствует о некоторой сортировке зерен плагиоклаза в процессе кристаллизации полосчатых гранитов.

Наблюдаемые закономерности такого ритмического расслоения можно объяснить периодическим поступлением к кровле магматической камеры конвективных потоков со взвешенными кристаллами более основного плагиоклаза, выделившимися у подошвы камеры, и последующим оседанием и накоплением крупных зерен этого плагиоклаза в основании оче-

* Аплиты — жильные, очень светлые кислые равномерно-мелкозернистые породы; пегматиты — неравномерно-зернистые, крупно- и даже гигантозернистые породы, часто с характерной графической структурой.



Полосчатые граниты, окрашенные процессами химического выветривания.

редного слоя. Происходящая при этом потеря тепла и, вероятно, летучих компонентов способствовала массовой кристаллизации кварц-калишпат-биотитовой минеральной ассоциации. Периодическое поступление к кровле новых потоков приводило к появлению ритмически повторяющихся слоев.

Спустя 35 лет мне удалось побывать на этих обнажениях. Фотографировать ритмично-расчлененные граниты всегда было трудно. Полосы отличались друг от друга лишь едва заметным оттенком. И вдруг я обнаруживаю, что в большинстве скалистых обнажений полосы с преобладанием кварц-калишпатовых гранофировых сростков окрашены в розово-бурый цвет, подобно тому, как происходит при искусственном окрашивании шлифов для диагностики полевых шпатов. В других гранитных интрузивах побережья столь интенсивного химического выветривания не наблюдалось. Остается предположить, что Опричинский массив более сильно «по-

страдал» из-за близости Дальнегорского химического комбината, который расположен всего в 30–40 км.

Флюидно-магматическое расслоение

Именно в результате такого процесса могли возникнуть микрогранодиоритовые включения (автолиты). Подобные образования типичны для малоглубинных интрузивов различных регионов и встречаются в разных породах — от диоритов до гранитов и аплит-пегматитовых даек. Наиболее широко автолиты развиты в начальных фазах интрузивов и образуют в них одиночные выделения или скопления, многократно повторяющиеся в обнажениях (Опричинский массив), а иногда слагают целиком некоторые фации пород (Валентиновский и Опричинский массивы), тяготея в основном к приконтактовым частям интрузивов.

Включения всегда имеют массивную текстуру, но обладают большей пористостью (2.8–2.9%) и магнитностью (магнитной восприимчивостью, $1100\text{--}1200 \cdot 10^{-5}$ в ед. СИ), чем вмещающие их породы (1% и $500\text{--}750 \cdot 10^{-5}$ в ед. СИ). Они обладают магматической структурой, характерной только для них, образованной удлиненными призмами плагиоклазов (иногда с роговой обманкой). Промежутки между ними заполнены кварцем, каликатровым полевым шпатом и биотитом. Иногда плагиоклаз ориентирован вдоль контакта капли-включения. Включения нередко зональны: краевая часть — мелкозернистая, а центральная — среднезернистая.

В одном обнажении наблюдались включения различного состава и размера, но в целом выдерживается закономерность — среднезернистые включения более основные и крупные по сравнению с мелкозернистыми. В гранитах автолиты больше по

размеру, чем в гранодиоритах и диоритах. Всегда сохраняется более высокое содержание $\Sigma(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{FeO}+\text{Na}_2\text{O})$ и относительно меньшее SiO_2 и K_2O .

Минеральный состав их довольно однообразен. Зональный плагиоклаз составляет от 40–50 до 70% объема породы, кварц — 10–20%, калишпат — 1–3% (иногда до 17% во включениях с микросферолитовой структурой), биотит от 4–5 до 20% и роговая обманка от 3–5 до 10%. По сравнению с вмещающими гранитами, они обогащены апатитом, магнетитом, сфеном и ортитом. Плагиоклазы представлены резкочональными кристаллами с низкоупорядоченной структурой и более высоким содержанием K_2O и BaO по сравнению с плагиоклазами вмещающих пород.

Все особенности включений и, прежде всего, зависимость их состава от состава вмещающих («цементирующих») пород, положения внутри массива и его глубины, а также сходство структурного облика включений из разных пород и отсутст-



Зональное включение в гранодиоритах Бринеровского массива.

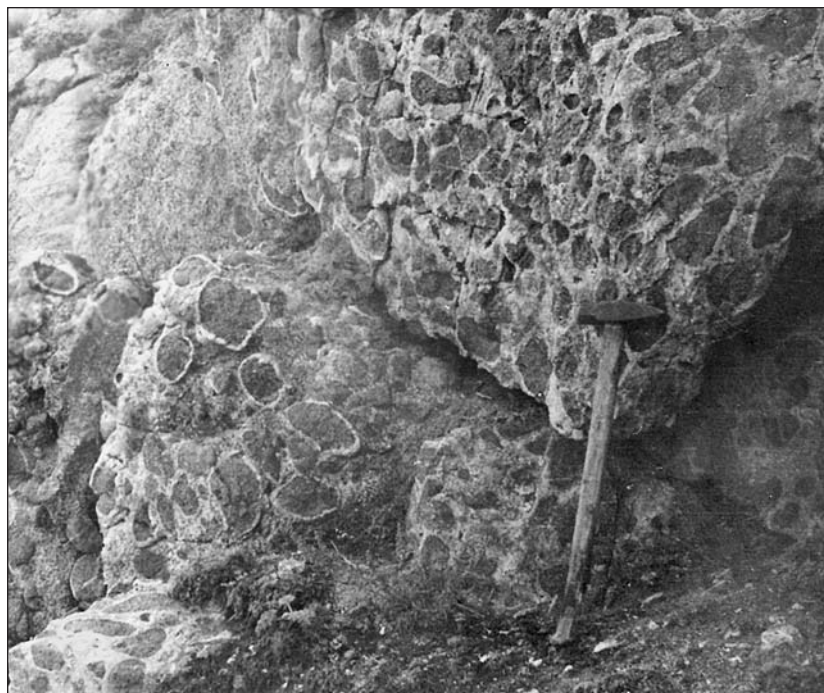
вие таких структур в породах подобного состава, но из геологических тел другой формы, свидетельствуют о их образовании на месте своего нахождения (*in situ*) в результате закономерного процесса, происходящего в расплавах различного состава (от диоритового до аплит-пегматитового).

Вопрос о происхождении включений до сих пор остается дискуссионным. Одни исследователи относят их к автолитам, т.е. продуктам эволюции той же магмы, что и вмещающие граниты (но по-разному определяя время их появления — на ранних или поздних стадиях кристаллизации гранитоидов). Другие рассматривают их как ксенолиты глубинных пород или обломки ранней фазы. Третья группа исследователей считает их результатом смешения расплавов разного состава [3, 8–10].

По мнению автора, наиболее полно особенности этих образований объясняются флюидно-магматическим расслоением расплава на две жидкости. Такому процессу могло способствовать резкое изменение скорости течения, сопровождающееся явлениями, подобными кавитацией.

Диффузионно-магматическая дифференциация

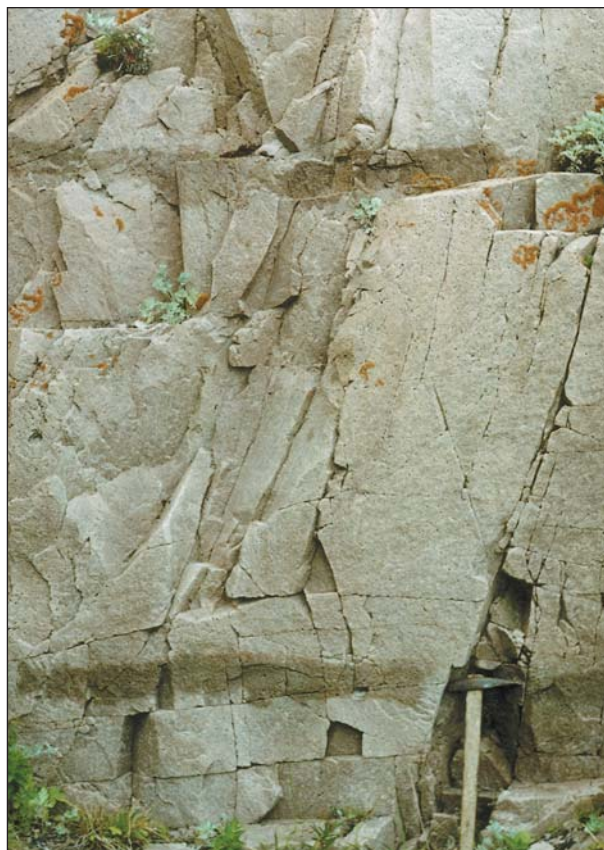
При кристаллизации расплавов и растворов сложного состава неизбежно возникает конвекция. В большинстве случаев она играет роль гомогенизирующего фактора, но при определенном режиме скоростей остывания и кристаллизации способна привести к контрастному разделению компонентов. Чаще это происходит в прикровлевых или придонных участках интрузивных тел. Конвекция всегда сопровождается диффузией и известна в гидродинамике под названием «двойной диффузионной конвекции», или «*d-d* эффекта».



Включения с белой каймой: в диоритах Опричинского массива (вверху) и гранодиоритах Успенского массива.

На возможность двойной диффузионной конвекции в магматической камере, вызванной градиентами концентраций компонентов, указывали С.Чен и Дж.Тернер [11]. Наиболее быстрые (т.е. обладающие наибольшими коэффициентами диффузии) — это Na_2O , K_2O

и H_2O . Подвижность остальных ингредиентов на полтора-два порядка ниже. Учитывая такую различную подвижность компонентов, представляется вполне реальным концентрационное гидродинамическое расслоение магматических расплавов.



Ритмично-расслоенные граниты Бринеровского массива. Справа — ритм крупным планом (для усиления контраста гранофировый слой смочен водой).

Подобного расслоения для кислых расплавов известно не было, и считалось, что оно вообще нереально из-за высокой вязкости гранитной магмы. Однако мне удалось наблюдать в апикальной части турмалин-содержащих гранитов Бринеровского массива расслоение, которое, возможно, имеет подобный механизм.

В 20—30 м от северного контакта с вмещающими туфолитами риолитов в двух скалистых мысах на протяжении 150—200 м обнажаются пологозалегающие зоны ритмично-расслоенных гранитов, в которых наблюдается до 10—14 ритмов. Каждый ритм состоит из серой полосы шириной 10—15 см, сменяющейся светло-серой полосой шириной 100—140 см. В более темных полосах преобладает гранофировая структура основ-

ной массы, а в светло-серых — аплитовая. Прожилки с турмалином пересекают всю полосчатую зону. Гранофировые слои по сравнению с аплитовыми обеднены флюидной фазой, но обогащены ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) и содержат обогащенный магнием и фтором биотит.

Таким образом, благодаря резкому термическому градиенту в условиях малых глубин в приконтактных частях интрузивов могут возникать условия для протекания процесса, подобного двойной диффузионной конвекции, которая приводит к формированию в расплаве субгоризонтальных ячеек с различным содержанием H_2O и ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$). При кристаллизации этого расслоенного расплава формируется порода с различной структурой. Из обедненного водой расплава образуются

гранофировые слои, из обогащенного — аплитовые горизонты. Через гранофировые слои осуществляется диффузионный массообмен между ячейками, и, видимо, поэтому в них накапливаются наименее подвижные в гранитном расплаве окислы железа.

Дифференциация остаточных расплавов

Дифференциация остаточных расплавов, богатых летучими компонентами, вызывает образование дайкообразных ритмично-слоистых гранодиоритов и аплит-пегматитов. При пологом залегании жилы аплитов формируются в лежащем боку, а пегматитов с гнездами темноцветных минералов — в висячем. В крутопадающих телах

гнезда темноцветных минералов и пегматитов ориентированы перпендикулярно контактам тел. Во вмещающих гранитах пологие и крутопадающие тела сопровождаются веером меланократовых (темных) полос, между которыми наблюдаются гранодиоритовые включения диаметром в несколько сантиметров, аналогичные автолитам. Мощность аплит-пегматитовых образований колеблется от 0,5 до 1,5 м, протяженность составляет десятки метров. Наиболее широко они развиты в Ольгинском, Владимирском и Валентиновском массивах.

Вдоль берега моря, южнее мыса Баратынского, в гранитах Владимирского массива встречено дайкообразное тело ритмично-слоистых гранодиоритов протяженностью более 900 м при мощности от 0,5 до 5 м. Полосчатая текстура обусловлена неравномерным распределением в породе плагиоклаза и биотита, роговой обманки и магнетита. Полосы шириной от 1 до 5 см расположены практически параллельно друг другу. Зона венчается пегматитовой полосой мощностью 10–15 см.

Содержание темноцветных минералов во вмещающих гранитах ~3%, между полосами — 5–9%, а в самих полосах — от 9 до 21%. Количество плагиоклаза и кварца взаимосвязано: увеличение одного сопровождается уменьшением другого.

Образование этого ритмично-расслоенного тела гранодиоритов, вероятно, подобно образованию расслоенных силлов [4], в которых дифференциация зависит от двух процессов: осаждения ранее образовавшихся кристаллов, уже присутствовавших к моменту становления тела (к ним, возможно, относятся наиболее основные плагиоклазы An_{52}), и кристаллизационной дифференциацией, обусловленной ростом кристаллов у контактов тела (преимущественно снизу вверх). Остаточный расплав, богатый лету-



Зона с меланократовыми (темными) полосами на контакте гранодиоритов и гранитов (вблизи мыса Маневского, Ольгинский массив).

чими компонентами, был внедрен (отжат) на место кристаллизации — в ослабленную зону вдоль трещин в гранитном массиве. Скорость охлаждения тела при этом должна быть относительно высокой, а кристаллизация происходит в условиях неполного равновесия из слегка переохлажденной магмы без конвективного перемешивания, так как возникновение конвективных ячеек с гораздо большими горизонтальными, чем вертикальными размерами, маловероятно [4].

Понижение основности ядер зональных кристаллов плагиоклазов из меланократовых полос от контактов к центру ритмично-расслоенного тела свидетельствует о том, что кристаллизация расплава шла от внешних частей к внутренним с выделения плагиоклаза (An_{52-46}) и роговой обманки, на образование которых расходовались Ca, Na, Mg и некоторое количество Fe. Так формировались меланократовые полосы. Расплав при этом обогащался Si, K, Fe и начиналась кристаллизация более кислого плагиоклаза



Фрагмент (верхняя часть) ритмично-слоистой интрузии гранодиоритов (Владимирский массив).

(An_{32-35}), каликатрового полевого шпата, биотита и кварца, приводящая к образованию светлых (лейкократовых) полос. Вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации процесс на время приостанавливал-

ся, а затем начинался снова с выделения плагиоклаз (An_{42})-роговообманковой ассоциации меланократовой полосы следующего ритма. Затем кристаллизация очередной порции расплава, прилегающей к закристисталлизованной части, прекращалась из-за выделения скрытой теплоты кристаллизации, и т.д. Каждый следующий ритм содержал все более кислые пла-

гиоклазы и все менее основные лейкократовые полосы.

* * *

Таким образом, в отличие от приведенных в литературе многочисленных примеров расслоения гранитных расплавов, выражающихся в основном в распределении темноцветных минералов, в гранитоидах Прибрежной зоны Приморья наблю-

даются разнообразные виды расслоения, представляющие собой результат широкого спектра процессов внутрикамерной дифференциации первоначально гомогенного расплава. Распространенность процессов расслоения в интрузивах Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса превращает эту зону в уникальный объект — провинцию расслоенных гранитов. ■

Литература

1. Фаворская М.А. Верхнемеловой и кайнозойский магматизм восточного склона Сихотэ-Алиня // Тр. ИГЕМ. 1956. Вып.7.
2. Шипулин Ф.К. Интрузивные породы юго-восточного Приморья и связь с ними оруденения // Тр. ИГЕМ. 1957. Вып.3.
3. Попов В.С. // Записки ВМО. 1986. Ч.115. Вып.3. С.311—325.
4. Уэйджер Л., Браун Г. Расслоенные изверженные породы. М., 1970.
5. Амшинский И.Н. Вертикальная петрохимическая зональность гранитных плутонов (на примере Алтая) // Тр. СНИИГГ и МС. 1973. Вып.158.
6. Повилайтис М.М. Ритмично-расслоенные гранитные интрузии и оруденение. М., 1990.
7. Валуй Г.А. // ДАН СССР. 1983. Т.271. №2. С.420—425.
8. Валуй Г.А. Полевые шпаты и условия кристаллизации гранитоидов. М., 1979.
9. Валуй Г.А., Стрижкова А.А. Петрология малоглубинных гранитоидов на примере Дальнегорского района (Приморье). Владивосток, 1997.
10. Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1976. №2. С.36—48.
11. Симакин А.Г., Эпельбаум М.Б., Жиранская О.Н. О гидродинамическом расслоении при кристаллизации интрузивов // Очерки физико-химической петрологии. М., 1985. С.166—184.

От редакции

Изученные Г.А.Валуй ритмично-расслоенные граниты восточного побережья Приморья несомненно представляют значительный интерес. Автор совершенно права, указывая на редкость подобных явлений в гранитах. Пожалуй, в отечественной литературе достаточно известны только массивы в Казахстане, подробно описанные в свое время М.М.Повилайтис. Интересно также, что в мире есть районы, где обычно не проявляющие расслоенности массивы горных пород почему-то вдруг все оказываются расслоенными. Именно таким местом оказалось восточное побережье Приморья. На сегодняшний день трудно найти ясный физико-химический механизм (или механизмы) формирования ритмической расслоенности, но всестороннее описание подобных массивов совершенно необходимо. В статье приведены подробные материалы, характеризующие особенности строения таких гранитоидов; они иллюстрированы прекрасными фотографиями, позволяющими читателям составить свое мнение об этих очень интересных объектах. Надо сказать, что сложность и многообразие взаимоотношений пород в этих горных массивах заставило автора обратиться к целому спектру возможных механизмов формирования расслоенности, в том числе весьма проблематичным с физико-химической точки зрения (флюидному расщеплению расплавов, кавитации, периодически возникающим течениям, диффузионно контролируемым процессам). Доказать реальность каждого конкретного механизма нам не удастся. Но, по-видимому, столкнувшись с очень интересными и красивыми явлениями, происходящими в природе, невозможно удержаться от желания как-то их понять. Поэтому, считая интерпретации автора в высшей степени гипотетическими, мы решили оставить их на суд читателей, поскольку без этих предположений фактический материал, сам по себе очень яркий, трудно представить в систематическом и сжатом виде.

Заместитель главного редактора,
доктор геолого-минералогических наук
А.А.Ярошевский

Коралловые рифы: утраченный рай?

А.Н.Островский

Райские сады коралловых рифов, которые мы привыкли видеть на страницах журналов и в фильмах Кусто, остались в прошлом. Ныне многие из них превратились в кладбища и невольно вызывают печальные ассоциации... Тут бредешь, как по разрушенному замку. Везде следы былого величия: к небу еще вздымаются неприступные в прошлом замшелые стены, да вот только в стенах этих бреши, шпили на башнях обвалились, да и самих башен немного осталось. Подъемные мосты давно сожжены, и их оборванные цепи, глухо позвякивая, тихонько покачиваются на ветру. Улочки завалены битым кирпичом, кровли домов провалились, окна выбиты...

Катастрофу долго не замечали, пока колоссальный отток средств из сферы туристического бизнеса не заставил наконец правительства и предпринимателей обратить на нее внимание.

Катастрофа, которую не заметили

Коралловая экосистема нашей планеты — гигантский трансформатор вещества и энергии, доля которого в глобальном круговороте очень велика. Тысячи километров рифовых барьеров и десятки тысяч коралловых островов защищают побережья целых континентов от волновой эрозии. Но, кроме того, это целая вселенная, насе-



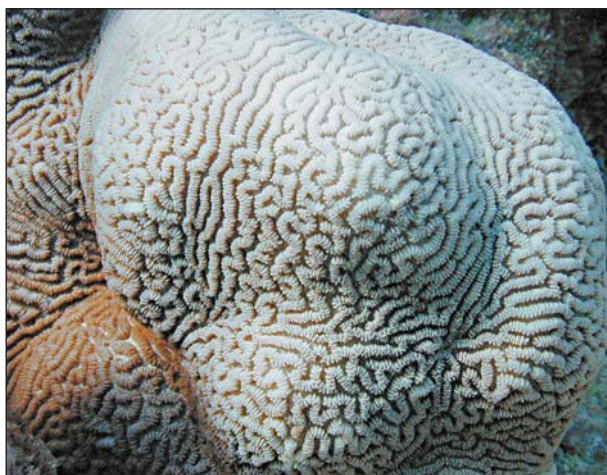
Андрей Николаевич Островский, кандидат биологических наук, докторант кафедры зоологии беспозвоночных биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Область научных интересов — эволюция репродуктивных стратегий, поведение и систематика мшанок, история морской биологии.

ленная мириадами животных и растений и дающая им пищу и кров. По числу постоянно и временно обитающих видов организмов коралловые рифы уступают лишь влажным тропическим лесам. (Чтобы представить себе такое биоразнообразие, вспомним, что всего на 2 га южноамериканской сельвы встречается в четыре раза больше видов древесных растений, чем во всей Северной Америке.) А ведь риф служит еще и яслями, где размножаются и проводят большую часть своего личиночного развития многие рыбы, некоторые головоногие моллюски и ракообразные. Самых рифообразующих коралловых полипов насчитывается почти 2,5 тыс. видов, а водорослей, губок, гидроидных полипов, иглокожих, моллюсков, червей, ракообразных, рыб и др. — десятки тысяч! И всем им грозит гибель.

Случаи массового вымирания кораллов известны с конца XIX в. На исходе 70-х годов XX в. частота этих событий начала драматически расти. Первая масштабная гибель произошла в 1983 г., к 1993 г. было потеряно 10% всех рифов планеты, а 1997 и 1998 гг. стали для них трагическими.

Некоторым регионам был нанесен невосполнимый ущерб: в прибрежных водах Бахрейна, Мальдивских о-вов, Шри-Ланки, Сингапура

© Островский А.Н., 2004



Кораллы в акватории Мальдивских о-вов. Сверху вниз: результат массового вымирания в апреле—мае 1998 г.; частично обесцвеченный коралл-мозговик *Platygyra* sp.; участок рифа, восстановившийся к 2003 г.

Фото Р.Кикингера

и многих акваторий вблизи Танзании погибло до 95% всех кораллов; неподалеку от Сейшельских о-вов, у берегов Белиза, Вьетнама, Кении, Таиланда и в водах южной части Японии — от 50 до 70%; в прибрежьях Бразилии, Индонезии, Омана и Полинезии, о.Мадагаскар, Багамских, Галапагосских и Филиппинских о-вов, вблизи Флориды и на Большом Барьерном рифе — от 20 до 50%. В той или иной степени мощному разрушительному воздействию подверглись все коралловые рифы мира.

В 2000 и 2002 гг. трагедия повторилась, особенно сильно затронув центральную и южную части Тихого океана. Так, до 40% кораллов погибло в акватории о-вов Фиджи, массовым вымираниям подверглись большие участки Большого Барьерного рифа (в некоторых из них погибло до 90% колоний).

На сегодняшний день самыми разрушенными и больными в мире оказались рифы Центральной Америки: в живых осталось 10—20% колоний (у берегов Кубы, Багамских о-вов и Белиза сохранилось около 30—70%, но в Мексиканском заливе, вблизи Ямайки и Панамы — меньше 1%). По некоторым оценкам, к настоящему времени погибло уже около половины всех кораллов Земли; в ближайшие пять лет вымирание грозит еще примерно 30% современных коралловых биоценозов (а в Юго-Восточной Азии и Австралии могут исчезнуть от 60 до 80% колоний).

Однако сейчас, по мнению ученых, мы все же наблюдаем лишь sporadическую гибель отдельных рифов или их участков. А вот через 20 лет начнется повсеместное вымирание кораллов, в частности, к 2030 г. под угрозой окажется само существование Большого Барьерного рифа. Если события будут развиваться с той же скоростью, коралловые колонии в большинстве прибрежных районов планеты погибнут всего через 100 лет.

Почему обесцвечиваются кораллы

Основные рифостроители, мадрепоровые кораллы, строят свой скелет, извлекая карбонат кальция из морской воды. Их обызвествлению помогают зооксантеллы — одноклеточные водоросли, которые живут в тканях коралловых полипов, поставляя им питательные вещества и получая при этом безопасное местожительство. Таким образом, коралловая колония — сложная симбиотическая система, в нормальных условиях успешно конкурирующая с быстрорастущими многоклеточными водорослями. Ночью полипы с помощью щупалец, усаженных стрекательными клетками, питаются планктонными организмами (главным образом, мелкими рачками); днем поступление необходимых веществ (а следовательно, и рост колонии) обеспечивается за счет фотосинтеза зооксантелл. При падении их содержания в тканях полипов на 60—90% кораллы обесцвечиваются и гибнут. Вообще они настолько зависимы от своих симбионтов,

что погибают, если концентрация зооксантелл не будет вовремя восстановлена. Если причина, приведшая к гибели зооксантелл, не очень сильна и не слишком продолжительна, у полипов есть шанс выжить — их ткани вновь заселяются водорослями. Считается, что в некоторых областях Тихого и Индийского океанов, а также Карибского моря обесцвечивание — явление регулярное, и многие рифы восстанавливаются полностью. Но это только предположение. Горькая же реальность заключается в том, что в результате гибели симбионтов большинство кораллов вымирает из-за нарушения обменных процессов и замедления роста скелета.

Биохимические основы ослабления обесцвеченных кораллов изучены пока недостаточно. До недавнего времени было распространено мнение, что они становятся удобной мишенью для болезнетворных микроорганизмов. Специалисты объясняли это по-разному. По одной из гипотез, исчезновение симбионтов в некоторых случаях приводит к изменению ионного обмена, что отражается на свойствах клеточных мембран полипов: в частности, может возрасти адгезия бактерий к этим клеткам. (Правда, имеются данные, свидетельствующие о том, что способность микроорганизмов прикрепляться к поверхности живой ткани кораллов вызвана изменением свойств самих бактерий из-за повышения температуры воды.) Другая гипотеза объясняла понижение защитных свойств полипов тем, что исчезновение симбионтов приводит к существенному уменьшению содержания сахаров в тканях кораллов — в результате они становятся менее устойчивыми к патогенам и их токсинам.

Однако в последнее время появились сведения, что в некоторых случаях обесцвечивание вызывают именно бактерии. Они атакуют ослабленные повышенной температурой воды кораллы, и те лишаются своих симбионтов (такие данные получены, например, для бактерии *Vibrio* AK-1 и средиземноморского коралла *Oculina patagonica*).

Скорее всего, справедливы все эти гипотезы, и перечисленные факторы действуют совместно. Главное же состоит в том, что ослабление полипов вызывается гипертермией.

В последние 10 лет у кораллов зарегистрировано 11 новых болезней. Во Флориде, например, число колоний, пораженных болезнями, в этот промежуток времени увеличилось более чем на 400%! Вот только один пример: вызываемое цианобактерией *Phormidium corraliticum* заболевание черная лента убивает коралл-мозговик размером с арбуз всего за месяц.

Во многих случаях обесцвечивание и последующая гибель полипов совпадали с долговременным изменением (повышением или понижением) температуры воды. Так, на 1997—1998 гг. пришлось одно из самых сильных в прошлом столетии Эль-Ниньо. Возникновение в тропической зоне устойчивого теплого течения с температурой в 28—30°C не могло не отразиться на состоянии мелководных



Коралл-мозговик, пораженный болезнью черная лента.

http://ourworld.compuserve.com/homepages/mccarty_and_peters/coral/Bbd.htm

океанических экосистем. Особенно сильно пострадали кораллы на глубинах до 15 м, где температура держалась на отметке 30°C и выше по нескольку недель. Однако если в одних районах Мирового океана (например, в восточной части Тихого) обесцвечивание и вымирание кораллов совпали с Эль-Ниньо, то в других (акваториях Юго-Восточной Азии) — с его антагонистом, прохладным течением Ла-Нинья. В различных районах Индийского океана обесцвечивание рифов также происходило или во время Эль-Ниньо, или во время Ла-Нинья. Поскольку эти два явления, как правило, идут одно за другим (что и случилось в 1997—1998 гг.), у кораллов просто не было времени на восстановление.

В качестве причин обесцвечивания называют также солнечную радиацию и длительное обсыхание во время экстремальных отливов и падения уровня моря. (Понятно, что зачастую несколько факторов действуют одновременно, многократно увеличивая губительный для зооксантелл и кораллов эффект.)

До 80-х годов XX в. случаи массовой гибели кораллов обычно были связаны с сильными штормами, длительными отливами, опреснением морской воды в дождливый период (в последнем случае обесцвечивание отмечается на глубинах до 50 м), а в Австралии — еще и вспышками численности морской звезды терновый венец (*Acanthaster planci*), которая питается полипами. Обесцвечивание, вызванное длительным повышением температуры воды, наблюдалось лишь в отдельных районах и ограничивалось относительно небольшими участками рифов. Но в последние 20 лет оно охватило огромные акватории тропиков, причем на самых разных глубинах.

Происходящие в наше время глобальные климатические изменения — общепризнанный факт.



Кораллы в прибрежных водах Флориды: риф, покрытый водорослями (слева); заиленная колония.

Фото А.Н.Островского

Ученые не знают точно, в чем основная причина планетарного потепления, однако множество фактов свидетельствует, что виновно в нем именно человечество. Увеличение концентрации в атмосфере основного парникового газа — CO_2 — прямо пропорционально размерам посевных площадей (в обрабатываемой почве идет интенсивное окисление органики) и количеству сжигаемого топлива. Потепление атмосферы ведет к повышению температуры воды в океанах, и кораллы погибают.

Под перекрестным огнем

К сожалению, список факторов, усугубляющих ситуацию, можно продолжить.

Повышение концентрации углекислого газа в атмосфере опосредованно ведет к тому, что скелетообразование у кораллов замедляется (по некоторым оценкам, на 10—20%), и их конкурентоспособность в значительной степени снижается.

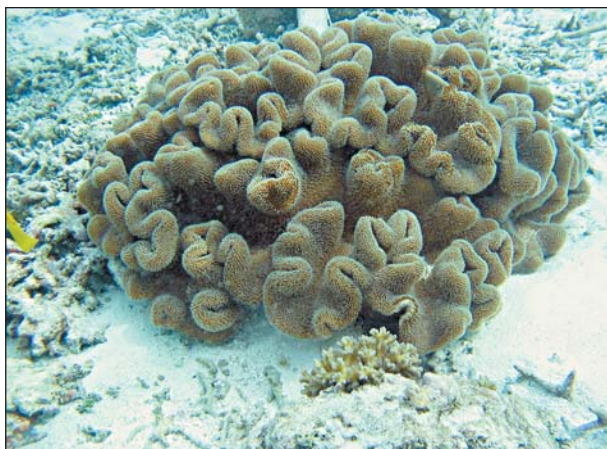
Общее потепление обуславливает сложные перестройки атмосферной циркуляции, в результате которых увеличивается вероятность возникновения тропических циклонов. Ураганы уничтожают рифы так же беспощадно, как и болезни, только значительно скорее. Коралловый сад после того, как по нему прошел ураган, становится заброшенным пустырем...

Важнейший фактор, ведущий к быстрому умиранию прибрежных экосистем, включая коралловые, — интенсификация выноса в океан механических осадков. Вырубка лесов приводит к размыванию почв на гигантских территориях. Это особенно заметно в тропических областях, где в дождливый сезон миллионы тонн песка и глины сносятся реками в океан и оседают на рифах. Темпы роста колоний многих видов полипов намного меньше скорости осадконакопления, и в результате они оказываются похороненными заживо. Кроме того, в океан с почвами выносятся неспецифические болезнетворные

организмы, атакующие кораллы. Например, в корневой системе тропических деревьев живет один из видов грибка аспергилла, который, попадая в море, поражает кораллы вида *Gorgonia flabellum* (его называют веером Венеры). Омертвление участков колонии приводит к утрате ее эластичности: обитающие на течении «веера» постепенно разваливаются.

Еще одна причина гибели кораллов — минеральные удобрения. Вымывание их вместе с почвой с полей ведет к повышению в морской воде концентрации азота, а в итоге — к активному росту паразитических грибов (скорость распространения инфекции по колонии увеличивается почти в два раза) и водорослей, причем как в толще воды, так и на дне. Водоросли быстро покрывают любые субстраты, в том числе поверхность кораллов. В первую очередь они селятся на мертвых колониях, не давая осесть на них личинкам полипов. Если же те все-таки осядут, то не смогут нормально развиваться, поскольку за ночь водоросли изымают из воды, окружающей личинку, почти весь кислород и таким образом «душат» молодь кораллов. А некоторые виды водорослей и колониальных инфузорий успешно селятся на живых колониях и либо перекрывают им (полностью или частично) доступ к свету, пище и кислороду, либо отравляют кораллы (в этом случае в местах контакта образуются некротические участки). В любом случае полипы погибают.

Добавим к этому прямое загрязнение морской воды бытовыми и промышленными сточными водами, нефтью, а также цианидами, применяемыми в некоторых районах Юго-Восточной Азии при рыбной ловле. На тех участках Большого Барьерного рифа, которые сильнее всего страдают от стоков с полей, видовое разнообразие кораллов в два раза ниже, чем на относительно незагрязненных акваториях. Возбудителем так называемой белой оспы, одной из наиболее быстро распространяющихся болезней кораллов, оказалась бактерия *Serratia marcescens*, обитатель человеческого кишечника. Нетрудно догадаться, откуда она взялась



Остатки былого великолепия: коралловые колонии и их обитатели в прибрежьях Мальдивских о-вов и Египта (нижний ряд).

Фото М.Ю. и А.Ю. Жуковых

в океане. Вред, причиняемый полипам их естественными врагами, такими как морские финики, или камнееды (двустворчатые моллюски рода *Lithophaga*), хитоны (рода *Choneplax*), морская звезда терновый венец и некоторые виды рыб-попугаев, не идет ни в какое сравнение с последствиями существования индустриального общества.

Возвращение кораллов?

Прогноз безрадостен. Не исключено, что мы — последнее поколение, которое еще может видеть коралловые рифы. Если не будут предприняты хоть какие-то попытки изменить ситуацию с очисткой сточных вод, выхлопных газов, вырубкой лесов и т.п., восстановительный потенциал этого колоссального по своим размерам, разнообразию и значимости для биосферы Земли биоценоза уже через 50 лет будет безнадежно подорван. Необходимо

много изменить в сознании людей, чтобы остановить катастрофу.

Первое и самое главное, что нужно предпринять, — немедленно пересмотреть подходы к эксплуатации ресурсов океана. Использование традиционных методов добычи морепродуктов убийственно, причем не только для полипов, но и для огромной части населения нашей планеты (ежегодно коралловые рифы дают, в товарах и услугах, 375 млрд долл., полностью или частично обеспечивая существование десятой части человечества). К решению этой проблемы подключились крупнейшие международные природоохранные и финансовые организации (такие как Международный фонд дикой природы и Всемирный банк). При их поддержке разворачиваются широкомасштабные программы по мониторингу рифов, созданию охраняемых акваторий и просвещению населения прибрежных территорий. Правительствам развивающихся стран даются практические рекомендации относи-

тельно того, где и когда лов рыбы должен быть полностью или частично запрещен, каков допустимый размер улова, какие орудия можно использовать. Все это, а также организация новых, причем очень крупных, заказников — единственно возможный вариант предпринимательства на прибрежных акваториях. Во многих регионах уже сейчас необходимы полный отказ от морского промысла и переключение экономики на значительно более прибыльный туризм. Отдыхающие хотят видеть под водой ярких рыбок и коралловые города, а не грязно-бурые обломки, в которые превратилось большинство рифов по всему миру. Однако чтобы туристам было на что смотреть под водой, необходимо убедить местное население отказаться от традиционного промысла и сохранить хотя бы оставшиеся кораллы. А это чрезвычайно трудно.

Морские биологи ищут новые подходы к восстановлению рифов. В Австралии, например, успешно опробован следующий метод: личинками кораллов заселяют искусственные субстраты, а потом их куски переносят на поврежденные участки колонии, чтобы ускорить ее восстановление. Во Флориде уже несколько лет ведутся эксперименты по созданию рукотворных рифов. На дне сооружаются конструкции из фибerglassовых прутьев и бетонных блоков, промежутки между которыми аквалангисты заполняют глыбами кораллового известняка. На этих сооружениях быстро появляются водоросли, а затем и рыбы, которые ими питаются. Ученые пытаются поселить здесь молодые колонии полипов, но приживутся ли они, пока неясно. В Саудовской Аравии разработан метод, основанный на использовании электрохимических свойств морской воды. В открытом море на буйках крепятся солнечные батареи, дающие слабый постоянный ток. Они соединены с погруженными в воду проволоочными каркасами, которые быстро покрываются коркой из солей магния и кальция. На нее активно оседают личинки полипов, мшанок, гидроидов, двусторчатых моллюсков и др. Таким образом, довольно быстро возникает ассоциация живых организмов — прообраз кораллового рифа. Интересно, что полипы, которые поселились на находящихся под током проволоочных каркасах, меньше страдают от перегрева моря. В большинстве своем они выживают даже в тех условиях, когда их соседи гибнут. Причины этого явления пока неизвестны.

Естественное же возрождение кораллов если где-то и идет, то слишком медленно: молодых колоний появляется в 10, а в некоторых случаях — в 100 раз меньше, чем 20 лет назад. Лишь в отдельных районах рифы восстанавливаются хорошими темпами. Например, в прибрежных водах Мальдивских о-вов некоторые колонии быстрорастущих видов коралла рода *Acropora* за пять лет, прошедшие после катастрофы 1997—1998 гг., выросли почти до метрового размера. Однако даже здесь на полное восстановление понадобятся десятилетия (да и то если не повторится обесцвечивание). В других же местах кораллы и вовсе не возрождаются. Так, вблизи Шри-Ланки и во многих прибрежных районах Индии рифы мертвы. Кроме того, для реколонизации полипам требуется устойчивый твердый субстрат, а после вымирания рифы во многих местах представляют собой груды мелких известковых обломков.

Потепления в истории нашей планеты уже были (правда, не столь быстрые), и каждый раз они сопровождались масштабными сменами фауны. И все же многие виды морских организмов смогли пережить катаклизмы, перебравшись в более холодные воды, а именно уйдя в высокие широты, на глубину и в зоны апвеллинга. Это дает шанс на спасение и для современных рифов. Точнее, сами они могут погибнуть, но кораллы выживут. И, кто знает, может быть, вернуться в мелководные районы, чтобы снова вырастить райские сады. Такое уже случалось. В промежутке между 9 тыс. и 4 тыс. лет назад температура воды в Атлантике была на 2—4°C выше, чем сейчас, и кораллы процветали на 150 км севернее нынешней границы их распространения. Один из современных видов рода *Acropora* когда-то существовал в Красном море. Теперь его там нет, зато он широко распространен в Карибском. Данный пример показывает, что, исчезнув в каком-то месте, вид может пережить экологический кризис в более благоприятных условиях.

И напоследок — одно обнадеживающее наблюдение. Морские биологи из Смитсоновского тропического института сообщили, что у некоторых видов кораллов в условиях повышенной температуры ткани заселяются более теплолюбивыми зооксантами. Возможно, это одна из адаптивных стратегий, позволяющих полипам переживать кризисы.

Хочется верить, что для кораллов еще не все потеряно. Однако без нашей помощи им уже не справиться. ■

Литература

1. *Kushmaro A., Rosenberg E., Fine M., Loya Y.* // Marine Ecology Progress Series. 1997. V.147. P.159—165.
2. *Veron J.E.N., Vernon J.E.N.* Corals of the world. In 3 v. Melbourne, 2000.
3. First Austrian Reef Workshop (Abstract Volume). Vienna, 2003.
4. Coral Reefs and Global Change: Symposium Report. Boston, 1998 (http://coral.noaa.gov/themes/coral_cg.html).
5. Status of Coral Reefs of the World. 2002 (<http://www.aims.gov.au/pages/research/coral-bleaching/scr2002/scr00.html>).
6. *Goreau T.J., Cervino J., Goreau M. et al.* Rapid Spread of Diseases in Caribbean Coral Reefs. — Global Coral Reef Alliance. 1997 (http://globalcoral.org/rapid_spread_of_diseases_in_cari.htm).

Певчие птицы с повадками хищника

К. ван Орден

Департамент охраны природы провинции Южная Голландия (Нидерланды)

Н. В. Паклина

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

Близкому знакомству с сорокопутами-жуланами (*Lanius collurio*) мы обязаны соседу по даче Петру Константиновичу. Несколько лет назад задумал он посадить у себя в огороде ели. И вот прошлой весной там уже стояли трехметровые красавицы: все как на подбор стройные и пушистые.

Понравились ели и птицам. В конце мая на крепкой еловой ветке недалеко от ствола облюбовали себе место зяблики, но только они начали строить гнездо, как откуда ни возьмись прилетел самец сорокопута. Размером он был немного крупнее воробья — сантиметров двадцать в длину вместе с хвостом, но гораздо наряднее: на большой голове серая шапочка, на груди светлая рубашка, а поверх красно-коричневый фрак. Просто красавец! Правда, черная «повязка» на глазах придавала ему несколько пиратский вид, а загнутый на конце клюв выдавал хищнические наклонности.

На следующий день появилась и самка. Ее оперение было намного скромнее, невнимательный наблюдатель мог легко принять ее за воробья. Сначала казалось, что самка относится довольно равнодушно к ухаживаниям самца, хотя и принимает от него насекомых в качестве

угощения. Но равнодушие было видимым — она тоже занималась выбором места для гнезда. Через пять дней стало ясно, что сорокопуты остановили свой выбор на елях, которые уже приглянулись зябликам, но жить с ними по-соседски не смогли (или не захотели). Силы были явно неравными, и после шумной, но недолгой «разборки» зябликам пришлось отправиться на поиски другого места. А сорокопуты приступили к строительству гнезда на одной из елей.

Дальнейшие события разворачивались на наших глазах, как в театре. Через неделю гнездо было готово, а спустя три дня самка уже сидела на нем. Это означало, что большая часть яиц отложена. Самец ловил насекомых и кормил подругу: мелких насекомых он приносил ей прямо в гнездо, а более крупные трофеи — майских жуков и шмелей — накалывал на шипы боярышника и терна в нашем саду.

Охрана гнездовой территории тоже входила в обязанности самца. Он атаковал и прогонял с соседского огорода всех мелких птиц. Трясогузки и деревенские ласточки, которые гнездились поблизости, под крышей сарая, предпочитали с ним не встречаться. Но нападать на более крупных птиц он не решался. Замечая их приближение, он только подавал сиг-



Самец сорокопута-жулана.

Здесь и далее фото авторов

нал опасности — громкое встревоженное «чак-чак-чак», понятное, наверное, всем пернатым обитателям деревни. Так он извещал, например, о появлении сороки, которая часто прилетала из-за оврага и обездолила не одно птичье семейство. Больше всего от нее пострадали дрозды, чьи гнезда были слишком хорошо заметны на ветках старых яблонь.



Самец жулана с птенцом.



Птенец просит еду у Папы.



Мама кормит птенца.



Недавно вылетевший из гнезда птенец.

Прошло две недели, как самка начала насиживание. И вот однажды утром мы увидели, что она вместе с самцом занимается ловлей насекомых. Значит, вылупился, по крайней мере, первый птенец. С тех пор как-то само собой получилось, что мы, не договариваясь, стали звать сорокопутов не иначе, как Папой и Мамой.

И вот 6 июля птенцы покинули гнездо! Походили они больше на Маму, только желтый клюв, торчащие во все стороны перышки да поперечные полоски на оперении отличали их от нее. И, конечно же, поведение. Они еще не умели ловить насекомых, а сидя на заборе и трепеща крыльшками при виде родителей, напоминали об их обязанностях

громкими криками. У сорокопутов-жуланов кормлением потомства занимаются оба родителя. Птенцов было четверо, и сначала все держались вместе. Получив большого зеленого кузнечика или другое насекомое, накормленный слеток на некоторое время умолкал и сидел на ветке, умиротворенно прикрыв глаза. Но к тому времени другой пте-

нец уже был готов принять очередную порцию корма, а за ним третий и так по кругу.

С каждым днем малыши становились смелее и улетали все дальше от гнезда. Скоро они стали завсегдатаями нашего сада. Количество и разнообразие жертв, наколотых Папой на шипы деревьев, увеличивалось с каждым днем. Теперь там можно было обнаружить и больших зеленых кузнечиков, и лягушат, и ящериц. Крупные жертвы, видимо, служили запасами на ночь, так как обычно появлялись ближе к вечеру, а утром исчезали.

Через неделю после вылета из гнезда птенцы, хотя еще по-прежнему требовали еду у родителей, умели уже находить нако-

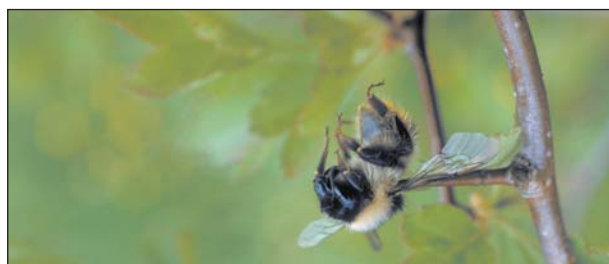
лотых на шипы насекомых. Да и сами научились ловить небольших жучков, мошек и муравьев, разгуливая по коротко подстриженному газону. Взрослые сорокопуты охотятся, конечно, совсем по-другому: они неподвижно сидят на заборе или на ветке дерева, высматривая жертву с высоты, а вниз слетают только за тем, чтобы схватить ее.

Самым осторожным из всего семейства был Папа. Он очень огорчал нас тем, что не любил фотографироваться. Когда мы пытались подойти к нему поближе, сильно беспокоился — хвост его резко двигался из стороны в сторону. Еще шаг... и Папа уже улетел. Птенцы же нас совсем не боялись: иногда даже казалось, что они не будут воз-

ражать, если мы возьмем их в руки. Мама была в меру осторожной.

В охотничьем мастерстве Папе не было равных. В сенокос он часто сидел на копнах сена, охотясь... на полевок! Мы не успевали и глазом моргнуть, а полевка уже висела на ветке терна, наколотая на шип. Эта птица массой примерно 50—70 г, т.е. чуть больше своей жертвы, приносила ее на дерево в клюве!

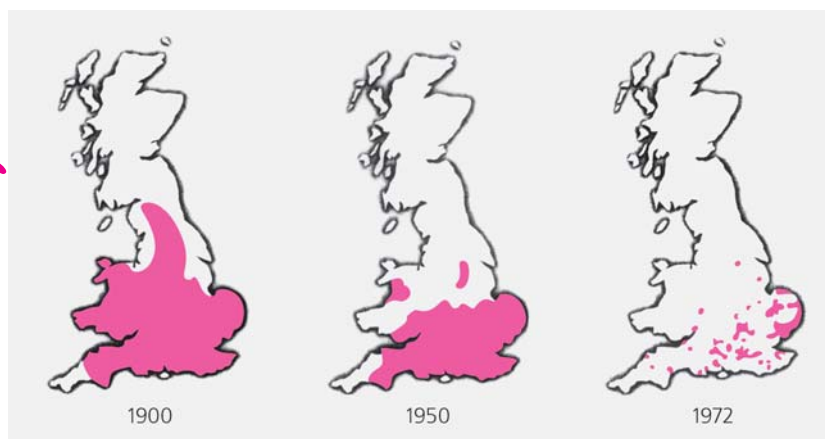
К августу, когда малыши сорокопуты уже неплохо научились ловить добычу по-взрослому, Папа однажды решил, что ему настало время отправляться в теплые края. Но перед этим он продемонстрировал нам еще одно свое мастерство — спел прощальную песню, сидя на ветке



Наколотые на колючки жертвы: лягушонок, шмель, полевка и ящерица.



Подросток птенец.



Сокращение ареала жулана в Англии.

облепили под нашим окном. Как самозабвенно он пел свою незатейливую песню, запрокинув голову и распушив перышки на горле! В песне слышались радость и удовлетворение от сознания выполненного долга. После 16 августа мы Папу больше не видели. Мама опекала выводок еще неделю, а потом отправилась вслед за главой семейства. Родители, видимо, были совершенно уверены, что дети в их помощи больше не нуждаются. А ведь впереди их ждал длинный и опасный перелет к местам зимовки: из костромской деревни в далекую Африку. Руководствуясь каким таинственным путеводителем, они доберутся туда первый раз в своей жизни без помощи старших? Как удастся им избежать подстерегающих на пути опасностей? Известно, что к своим гнездовым территориям возвращается не более половины взрослых птиц и только около 6% птенцов. На островах Эгейского моря, например, их поджидает хищная птица — чеглок Элеоноры (*Falco eleonora*). Он гнездится очень поздно и выкармливает свое потомство как раз в то время, когда начинается осенняя миграция европейских птиц. Там наш маленький хищник сам становится жертвой: по частоте встречаемости

в гнездах этого сокола он стоит на втором месте.

Дождаться отлета птенцов прошлой осенью нам, к сожалению, не удалось. В начале сентября, когда дела потребовали нашего присутствия в Москве, четыре подросших птенца все еще летали по саду. Нам оставалось только пожелать им счастливого полета и возвращения к родным елям.

На следующий год сорокопуты-жуланы прилетели на несколько дней позже, чем в предыдущем, между 3 и 6 июня. Три пары устроили себе гнезда на окраине леса, недалеко от деревни, но ни одна из них не выбрала ели. Только теперь нам стало ясно, какая удача выпала на нашу долю в прошлом году!

Лето выдалось дождливое, и, возможно, поэтому трем парам удалось вырастить только четырех птенцов. Одна пара потеряла всю кладку, другая вырастила трех птенцов, а третья — только одного. Вернее сказать, его растил почему-то один самец. Первый раз он прилетел со своим малышом к нам в сад только в середине июля, когда тот был уже довольно самостоятельным. Он как раз учился накалывать больших кузнечиков на шипы, есть их, сидя на дереве, как взрослые сорокопуты, крепко

держась одной лапкой за ветку дерева, а в другой, как в руке, сжимая добычу. Клювом он осторожно отрывал от кузнечика лишние части, стараясь не потерять равновесие. Было похоже, что он точно не знал, какого размера должна быть жертва, чтобы она могла пройти в глотку, так как после удаления очередного кусочка, он каждый раз пытался проглотить кузнечика. И если это не удавалось, продолжал осторожно уменьшать его размер до тех пор, пока жертву хоть и с трудом, но удавалось проглотить.

Мы задержались в деревне до октября и дождались отлета всех сорокопутов. Первая пара птиц исчезла сразу же, как только потеряла кладку. Другие родители улетели в первых числах августа, а птенцы оставались еще около месяца. К 27 августа их было только трое, 3 сентября — двое, а 11 сентября улетел последний птенец. Эти отважные путешественники отправлялись в путь по одному и ночью.

Жуланы, к счастью, пока остаются в России обычной птицей, поэтому мы надеемся продолжить знакомство с ними. Может быть, однажды они построят гнездо и на подрастающих в нашем саду елях. Еще совсем недавно сорокопуты были столь же обычными и в Западной Европе, но всего за каких-нибудь 10—20 последних лет из-за возросшей плотности населения и нарушения среды их обитания они стали исключительно редкими. Во всей Голландии, например, сейчас гнездится не более 10 пар жуланов. Не могут похвастаться большими популяциями и Англия, и Бельгия, и Германия. Так цивилизованный человек с его большими запросами, сам того, к сожалению, не осознавая, стал для сорокопутов-жуланов даже более опасным врагом, чем чеглок Элеоноры. Впрочем, как и для многих других видов животных. ■

Сибирский шелкопряд и судьба пихтовой тайги

Д.Л.Гродницкий

Кто не слышал о прожорливости саранчи, которая при массовом размножении объединяется в многомиллионные стаи, перелетает в поисках корма на сотни километров и в считанные часы уничтожает посевы зерновых и хлопчатника, сады и виноградники, причем объедает не только листья, но и ветки, и даже кору с деревьев? Много раз саранча обрекала на голодную смерть сотни тысяч людей. Те, кому повезло пережить нашествие, ставили памятники в честь своего спасения. Однако саранча свирепствует преимущественно в тропиках и субтропиках, для сибирских же лесов настоящим бедствием становится массовое размножение хоть и менее известного, но не менее прожорливого насекомого — сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus*). Впервые его описал С.С.Четвериков сто с лишним лет назад. В наши дни шелкопряд перестал быть исключительно сибирским: западная граница его ареала давно миновала Урал и продолжает медленно продвигаться по европейской части России.

Взрослый сибирский шелкопряд — крупная бабочка до 10 см (обычно четыре—семь) в размахе крыльев; самцы мельче самок. Бабочки не питаются (у них да-



Дмитрий Львович Гродницкий, доктор биологических наук, заведующий кафедрой естественных дисциплин Института повышения квалификации работников образования (Красноярск). Область научных интересов — энтомология, эволюция насекомых, лесная экология.

же нет хоботка), зато у гусениц отменный аппетит. Они объедают кроны всех растущих в Сибири видов хвойных деревьев, но более всего предпочитают хвою лиственницы, пихты и кедра, чуть менее — ели, и еще менее сосны. При этом гусеницы ведут себя довольно странно: в течение одной-двух недель активно кормятся и прибавляют в весе, после чего наступает непонятный период покоя (диапауза), когда они почти не едят. К слову, гусеницы другого вредителя (тоже достаточно крупного размера) — непарного шелкопряда (*Lymantria dispar*) — питаются непрерывно и полностью завершают развитие в течение полутора месяцев, а вот жизненный цикл сибирского шелкопряда обычно рас-

тягивается на два года. Биологический смысл кратковременной диапаузы летом, когда, казалось бы, все благоприятствует росту и развитию личинки, пока неясен.

Экологическая катастрофа?

Сибирский шелкопряд — обычный обитатель лесных экосистем; в здоровом лесу он постоянно встречается в небольшом количестве (одна-две гусеницы на десяток деревьев) и, соответственно, вреда от него немного. Другое дело, когда происходит массовое размножение насекомого или, как еще называют это состояние популяции, вспышка численности. Причины



Участок темнохвойного леса, усохший после повреждения сибирским шелкопрядом. На врезке показана гусеница незадолго перед окукливанием.

Здесь и далее фото автора

тому могут быть самыми разными. Например, засуха: после двух-трех теплых сухих сезонов гусеницы вместо обычных двух лет успевают развиваться за год. В результате в текущем году откладывают яйца бабочки, родившиеся в прошлом и в позапрошлом годах. Плотность популяции удваивается, и естественные враги — насекомые-энтомофа-

ги, обычно уничтожающие почти всех особей шелкопряда, — успевают поразить только половину его яйцекладок и гусениц, а остальные беспрепятственно развиваются, окукливаются, превращаются в бабочек и дают потомство. Кроме того, рост численности шелкопряда может быть связан с весенними низовыми пожарами. Дело в том, что

гусеницы проводят зиму под лесной подстилкой, откуда выходят с первыми проталинами и устремляются в кроны деревьев. В подстилке зимует и злейший враг шелкопряда — микроскопический яйцеед теленомус (*Telenomus*). Его самки прикрепляются к телу шелкопряда (до 50 теленомусов на одной бабочке), путешествуют на значительные расстояния к месту откладки яиц, после чего поражают их. Поскольку шелкопряд откладывает яйца ближе к середине лета, яйцееды не спешат выходить из подстилки. Даже легкий пожар, прошедший ранней весной по подсохшей траве, губит большую часть популяции этих насекомых, что способствует возникновению очагов массового размножения шелкопряда. Через два-три года гусеницы полностью уничтожают хвою даже на самом крупном дереве и затем в поисках корма расползаются на соседние участки.

В Сибири такие очаги массового размножения (шелкопрядники) образуются в лесах двух типов: чистых (однородных) лиственничниках (в Якутии, Хакасии и Туве) и в темнохвойной тайге (на Алтае, в Новосибирской, Кемеровской, Томской, Иркутской областях и Красноярском крае). Последствия вспышек численности в этих двух типах лесов совершенно различны, поскольку разные виды деревьев по-разному переносят нашествие шелкопряда.

Лиственница в течение месяца после повреждения способна образовывать вторичную (компенсационную) хвою, которая длиннее, светлее изначальной и обладает меньшей фотосинтетической активностью. Тем не менее и этой хвое достаточно, чтобы помочь дереву пережить потерю кроны. Как правило, лиственница переносит одно- и двукратное повреждение гусеницами. Исключение составляют местности с неблагоприятными условиями произрастания: аридными, как Тува, или вечномерзлотными, как Эвенкия.

В темнохвойной сибирской тайге лиственница если и есть, то в незначительном количестве, листву осины и березы шелкопряд не ест, поэтому судьба тайги зависит от устойчивости пихты сибирской (60–100% древостоя), ели и кедра. Пихта и ель не способны к образованию вторичной хвои и усыхают после однократного объедания. Кедр же при одинаковом диаметре ствола обладает вдвое большей биомассой хвои, чем у пихты [1]. Соответственно, чтобы уничтожить крону кедра, гусеницам необходимо в два раза больше времени или двукратная численность. Однако эта особенность кедра не меняет положения.

Считается, что темнохвойные леса после гибели рано или поздно восстановятся естественным образом благодаря сукцессии — последовательной смене одних биоценозов другими (травяного сообщества — лиственным и, наконец, хвойным лесом). Это справедливо, но только не в случае, когда гибель тайги вызвана массовым размножением шелкопряда. К сожалению, заблуждаются не только обыватели, не видящие причин для беспокойства, но и работники лесного хозяйства.

В реальности после вспышки численности шелкопряда происходит следующее. Все хвойные деревья, включая и подрастающее поколение, погибают, остатки крон осыпаются. Количество света, доходящее до земли, увеличивается вдвое. В результате начинают разрастаться

лесные травы, прежде находившиеся в угнетенном состоянии из-за затенения, и через год-два почва скрывается под густым травяным покровом. Среди трав преобладает вейник (*Calamagrostis*) — злак, вызывающий быстрое образование дернины (поверхностного слоя почвы, пронизанного густо переплетенными корнями и подземными побегами). Мертвый древостой не забирает влагу из почвы, вследствие чего под шелкопрядами постепенно образуется болото. Стволы погибших деревьев гниют и через пять-семь лет после вспышки численности начинают падать. В течение 10 лет зона массового размножения шелкопряда превращается в свалку гниющей древесины. Такие участки непроходимы не только для человека, но и для зверя.

Необходимо 10–20 лет, чтобы микроорганизмы разрушили остатки древесины и постепенно освободилось место для молодых берез. Однако в большинстве случаев росту нового поколения деревьев препятствуют пожары. Известно, что шелкопрядники горят по нескольку раз, поэтому пока в бывшем очаге остаются горючие остатки, деревья там не растут. Фактически в течение первых трех десятков лет шелкопрядники не продуцируют древесину [2]. Лишь после исчезновения пожарной опасности начинается рост березы.

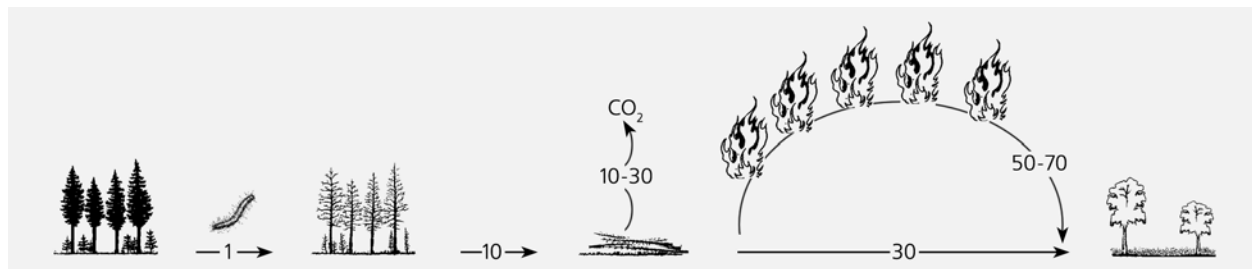
Еще через 50 лет после массового размножения шелкопряда бывший таежный участок по-

крывается густыми зарослями березы с диаметром ствола 2–8 см. Под березой — все тот же покров из вейника, под вейником — дернина, под дерниной — переувлажненная почва (грунтовые воды залегают на глубине всего около 20 см). Сколько времени нужно, чтобы на таком участке восстановилась исходная таежная растительность?

Для начала должна снизиться влажность грунта, поскольку главный вид, определяющий облик темнохвойных лесов на равнине, — пихта, которая не переносит переувлажнения. Можно ожидать, что в течение нескольких десятилетий растущий березняк осушит почву и она станет пригодна для всходов пихты.

Только откуда в шелкопряднике взяться семенам? Какое-то количество кедровых орехов может быть принесено птицами, но их роль нельзя переоценивать. Семена ели, высеваящиеся из шишек зимой, могут быть принесены ветром по насту. Однако важнее всего естественный посев пихты — основной лесобразующей породы. Пихтовые шишки распадаются осенью. При этом семена не летят далеко: специальные измерения показывают, что дальность их распространения не превышает 100 м, а основная масса оседает в 50–60 м от материнских деревьев [3]. Получается, что шелкопрядники имеют шанс рано или поздно быть засеянными, только если они имеют небольшую площадь.

Так оно и есть, но у проростков хвойных, даже если они



Смена растительности в таежной экосистеме, где хвоя была уничтожена сибирским шелкопрядом. Цифрами указано приблизительное число лет, необходимое для прохождения каждого этапа сукцессии.



Темнохвойный лес через год после массового размножения сибирского шелкопряда. Живые зеленые листья сохранились только на молодых рябинах.



Тот же лес еще через три года. Густой травяной покров состоит преимущественно из вейника.

смогли укорениться в дернине (что маловероятно), нет возможности конкурировать с вейником, который растет несравнимо быстрее. Это обстоятельство полностью отвечает установленному факту: на границе шелкопряда все молодые хвойные деревья сосредоточены в стометровой полосе вдоль лесной опушки, ежегодно дающей семена пихты, ели и кедра. При этом в подросте представлены только кедр и ель; пихта присутствует единично. Более того, плотность подроста составляет всего 200–300 экземпляров на гектар, а для восстановления леса их количество должно быть хотя бы в десять раз больше.

Итак, вопреки бытующему мнению, естественное восстановление темнохвойных лесов после их уничтожения шелкопрядом маловероятно: редкие деревья появляются лишь в непосредственной близости со здоровым лесом. Добавим к этому, что площадь 20–30 тыс. га — не предел для шелкопряда. Ясно, что вероятность попадания в шелкопряда достаточного количества семян низка, а успешное развитие проростков и дальнейший рост нового поколения хвойных пород практически невозможны. В итоге после многократных пожаров, роста и последующего естественного прореживания зарослей березы приблизитель-

но на шестое-восьмое десятилетие после массового размножения шелкопряда на месте темнохвойной тайги возникает березовое редколесье.

Существует другое заблуждение: вспышки численности шелкопряда происходят с периодичностью 11–13 лет [4]. Чтобы усомниться в этом, достаточно взглянуть на простую хронику последних событий. В течение десятилетия с 1992 по 2001 г. очаги шелкопряда отмечены в Новосибирской обл. (1995–1999), в Томской (1995–1996 и 2000–2001), на Алтае и в Туве (1992–2001), в Кемеровской обл. (1998–2000), в Хакасии (1999–2000), в Красноярском крае (1992–1997 и 2000–2001),



Шелкопрядник пятидесятилетней давности — это молодой березняк с повсеместными следами горения.

Пихтарник через шесть лет после вспышки численности шелкопряда.

в Иркутской обл. (1995—2001), в Бурятии (1992 и 1997—2001), в Читинской обл. (1999—2001), в Якутии (2000—2001) [5]. При этом очаги общей площадью более 50 тыс. га были обнаружены на Алтае, в Туве, Иркутской обл. и др. Только в Красноярском крае за три года (1992—1995) от шелкопряда погибли пихтарники на площади 260 тыс. га; в отдельных районах исчезла чуть ли не пятая часть всех темнохвойных лесов. Замечу, это сведения официальной лесохозяйственной статистики, сообщающие лишь о найденных, но не обо всех действующих очагах.

Вывод очевиден: в Сибири ежегодно шелкопряд наносит ущерб лесам на площади в среднем около 100 тыс. га, значительная часть которых превращается в обширные безлесные пространства; соответственно, деятельность шелкопряда труд-

но охарактеризовать иначе как экологическую катастрофу.

Теория и практика

Говорят, предотвратить болезнь легче, чем ее лечить, и с этим нельзя не согласиться. Вспышки численности фитофага — очевидная патология биоценоза, от которой страдают все населяющие его организмы. Сам вредитель — не исключение: в течение многих лет после массового размножения шелкопряда трудно обнаружить в окрестностях очагов.

Для установления начала массового размножения проводят мониторинг — комплекс мероприятий по слежению за численностью вредителя. Если численность превысила определенный порог, то назначают обработку (как правило, с воздуха)

формирующихся очагов химическими или бактериальными инсектицидами.

Теория хороша, но действительность сложнее. Леса Сибири в лучшем случае труднодоступны, поэтому мониторинг можно проводить только на сравнительно немногочисленных участках. Даже если возрастание численности отмечено на некоторых из них, то установить истинные границы начинающейся вспышки практически невозможно. Именно так обстояло дело в Красноярском крае в 1990—1992 гг., когда надвигающаяся катастрофа была упреждена за два года и были приняты соответствующие меры. Однако последовавшее массовое размножение привело к образованию очагов на территории 250×120 км; охватить такую площадь авиационными обработками технически невоз-



Атмосферный взрыв скопления недоокисленных веществ, образовавшихся при горении в условиях недостатка кислорода, — одно из явлений, сопровождающих крупные лесные пожары.

Фото В.И.Заболотского

можно, не говоря уже о стоимости подобных мероприятий. Резонно предположить, что очаги сибирского шелкопряда будут образовываться и впредь. Что же делать?

Средства из арсенала лесного хозяйства России немногочисленны. Один из методов, активно обсуждающихся в наши дни, — так называемое «контролируемое выжигание», — технология, импортированная в практику лесного хозяйства России, как всегда, из США, где выжигание используется достаточно часто. Однако даже при американской технике и организованности огонь не всегда удается удержать под контролем, и тогда сгорает много больше, чем было запланировано. В России при существующих обстоятельствах у огня гораздо больше возможностей уйти в окружающие леса. Последствия возгора-

ния сухих древостоев на площади в несколько тысяч гектаров достаточно очевидны. В силу этих обстоятельств едва ли можно ожидать, что выжигание шелкопрядников займет в отечественной практике сколько-нибудь значительное место.

Остается только рубить шелкопрядники; к этому выводу приводят как экономические, так и экологические соображения. Иначе шелкопрядник будет гнить и представлять постоянную пожарную угрозу. Достаточно сказать, что объем погибшей древесины в уже упомянутых красноярских шелкопрядниках составил около 50 млн м³. Какое влияние астрономическое количество продуктов гниения и горения, выделяемых в атмосферу, окажет на климатические процессы? Каков будет географический охват этого влияния? Значение этого аспекта де-

ятельности шелкопряда еще предстоит оценить.

Очевидно, что сибирский шелкопряд представляет реальную угрозу самому существованию пихтовой тайги на равнинах Западной и Восточной Сибири. Следовательно, требуется введение режима особо охраняемой территории хотя бы для той части лесов, где доминирует пихта сибирская, если эти леса находятся в зоне вредоносного действия популяций сибирского шелкопряда.

Антропогенный кризис?

Предполагается, что вспышки численности сибирского шелкопряда — естественное, эволюционно обусловленное явление [4]. Иначе пришлось бы поверить, что экосистема спо-

собна к саморазрушению: ведь сибирский шелкопряд — не чуждый вид, не вселенец, а исконный таежный обитатель, т.е. часть экосистемы. Но как же в таком случае могла возникнуть темнохвойная тайга Сибири — коренная лесная формация — в условиях постоянно действующих крупных очагов размножения шелкопряда? Более реально выглядит другое объяснение: вспышки численности этого насекомого возникли сравнительно недавно в результате нарушения сбалансированного функционирования таежных экосистем, что могло быть вызвано сельскохозяйственной и лесозаготовительной деятельностью человека, которая началась в Сибири менее четырех веков назад [6]. Огневое земледелие привело к фрагментации биоценозов и образованию прогреваемых опушек. Внезапное осветление кроны угнетающе действует на пихту и подавляет ее защитную реакцию на повреждение насекомыми. Возможно, что повышение температуры и подавление иммунитета кормового растения однажды ускорили развитие сибирского шелкопряда и позволили ему ускользнуть от многочисленных природных врагов, регулирующих его численность. В итоге система вышла из равновесия — деятельность человека послужила пусковым механизмом для процесса разрушающего природный биоценоз.

Такая точка зрения хорошо согласуется с фундаментальным представлением В.В. Жерихина

об эволюции биологических сообществ, разработанным на основе глубокого сравнительного изучения смены ископаемых фаун [7]. Развитие жизни на Земле неоднократно проходило через периоды массового вымирания одних и возникновения других существ. Изменение состава фауны происходило на фоне (и по причине) экологического кризиса, вызванного депрессией и исчезновением доминантов (эдификаторов) — растений, определявших облик и структуру экосистем далекого прошлого. На месте вымерших сообществ возникали новые. В частности, все стабильные травяные сообщества (степи, прерии, пампы) исторически образовались на месте сукцессионных рядов с лесными климаксами за счет утраты последних стадий, где доминировали деревья. Последнее понятно: в любом ряду смены сообществ наиболее уязвимой стадией является начальная; будь она устойчива, то сукцессии не было бы вовсе. Поэтому если конечные стадии регулярно уничтожаются каким-либо фактором и сукцессионная система возвращается в исходное состояние, то существует вероятность захвата экологического пространства иными видами, которые не допустят дальнейшей смены ценозов по накатанному пути. «Иные виды» — не пришельцы, а обитатели местных экосистем, обычно находящиеся в угнетенном состоянии, но способные быстро разрастаться и удерживать террито-

рию при наступлении подходящих условий. В ситуации с тайгой и сибирским шелкопрядом роль вида-захватчика играет вейник.

Наблюдаемая картина не идентична известным из палеоэкологии. Ископаемые леса исчезли при активном участии крупных листоядных млекопитающих, тогда как темнохвойную тайгу уничтожает насекомое. И все же принципиальная схема повторяется: консумент первого порядка переводит лесную экосистему на начальную стадию сукцессии, после чего положение эдификатора в растительном сообществе занимает один из распространенных, но прежде не доминировавших видов, который модифицирует среду таким образом, что путь к бывшей климаксовой экосистеме оказывается закрыт.

Если отмеченное сходство не поверхностно, то представленный пример иллюстрирует процесс антропогенного биосферного кризиса, о котором неоднократно говорил В.В. Жерихин, — коренной перестройки всей биоты, вызванной деятельностью человека. Конечно, кризис начался не сейчас: вспышки численности саранчи преследовали людей задолго до нашей эры. Но биоценозические кризисы и не происходят в одночасье. Аномальные природные явления тысячелетиями следуют за развитием цивилизации, сложившаяся структура биосферы расшатывается медленно и понемногу, однако думать о последствиях все же нужно. ■

Литература

1. Коломиец Н.Г. Сибирский шелкопряд — вредитель равнинной тайги // Тр. по лесн. хоз-ву. Новосибирск, 1957. Вып.3. С.61—76.
2. Кузьмичев В.В., Черкашин В.П., Корец М.А., Михайлова И.А. // Лесоведение. 2001. №4. С.8—14
3. Савченко А.М. О дальности разлета семян пихты сибирской в равнинных лесах // Тр. СибНИИЛП. 1966. Вып.14. С.3—5.
4. Кондаков Ю.Л. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда // Экология популяций лесных животных Сибири. Новосибирск, 1974. С.206—265.
5. Официальные данные Российского центра защиты леса.
6. Тальман П.Н. Влияние среды и преобразующей ее роли человека в связи с размножением сибирского шелкопряда // Тр. ЛТА. 1957. Вып.81. Ч.3. С.75—86.
7. Жерихин В.В. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. М., 2003.

Архивные SMS-ки

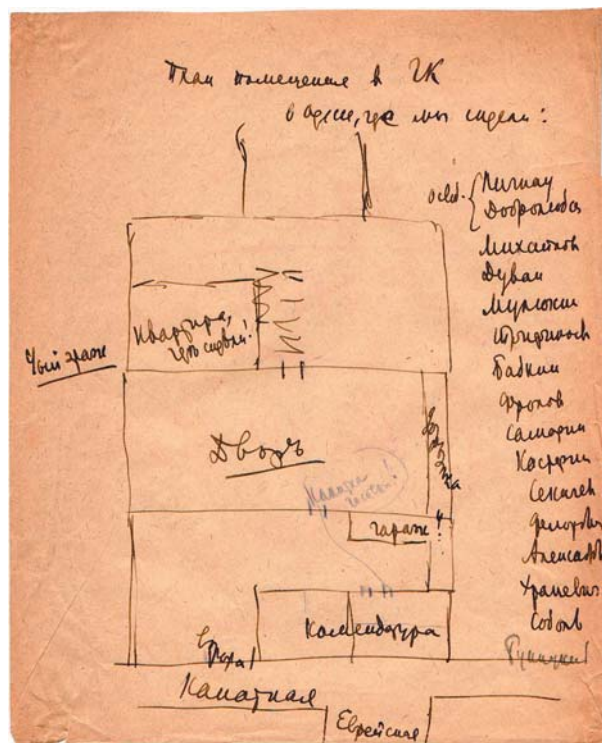
Одесские изгнанники

16 ноября 1922 г. петроградский причал покинул «Preussen» — исторический «Философский» пароход, спасший жизнь многим выдающимся деятелям отечественной науки (Н.О.Лосскому, Л.П.Карсавину, И.И.Лапшину и др.), высланным из СССР по приказу В.И.Ленина. Гораздо менее известно, что акция по высылке была направлена не столько против философов и писателей, сколько против оппозиционной большевизму вузовской профессуры, активно бастовавшей в 1921—1922 гг. В списки высланных по решению ОГПУ попали отнюдь не только столичные преподаватели, но и значительная часть провинциальной научной интеллигенции Киева, Томска, Казани, Харькова и других крупных вузовских городов. В Одессе, где располагался Новороссийский университет, аресты прошли с 19 по 25 августа 1922 г.

Ряд интересных подробностей высылки одесской профессуры обнаруживается в личном фонде историка-слависта Антония Васильевича Флоровского (1884—1968), хранящемся в Архиве Российской Академии наук (РАН)*. Высланный в 1922 г., Флоровский всю жизнь провел за границей (Чехословакия), в 50—60-е годы возобновил контакты с советскими коллегами, а в июле 1965 г. составил завещание, в котором распорядился: «В Архив Академии наук в Москве надлежит сдать всю мою переписку, уже отобранную и распределенную по именам корреспондентов». Часть этой переписки составляют письма «союзников» Флоровского по тюремному заключению и высылке 1922 г., которые с 30-х годов историк специально собирал для Русского исторического архива в Праге. Перечень их имен рукой А.В.Флоровского приведен на начерченном им же плане здания одесского ГПУ; здесь же изображена и схема внутреннего зоолога Н.Г.Лигнау, правоведа П.А.Михайлов, медики А.Ф.Дуван-Хаджи и А.П.Самарин, историк А.С.Мулюкин, физиолог Б.П.Бабкин, физик Н.П.Ка-стерин, ботаник Г.А.Секачев, лингвист Ф.Г.Александров, специалист по сельскохозяйственной кооперации К.И.Храневиц, биолог С.Л.Соболь, математик Е.Л.Буницкий, судебный медик Д.Д.Крылов, а также Трифилев, Добролюбов, Фролов.

В отличие от столиц, части высылаемых одесских преподавателей удалось остаться на родине (Н.П.Ка-стерин, С.Л.Соболь, Трифилев), другие отправлялись за границу в несколько этапов на протяжении второй половины 1922 — начала 1923 гг. Первая группа (Б.П.Бабкин, А.В.Флоров-

* Значительная часть материалов опубликована, см.: Савина Г.А. «Пусть барахтаются...» (К истории «одесской высылки» за рубежом) // Диаспора: Новые материалы. Вып.3. Париж; СПб., 2002. С.293—410.



ский, Г.А.Секачев) прибыла в Константинополь в сентябре 1922 г., затем выехал в Константинополь и далее в Париж П.А.Михайлов. В начале 1923 г. покинули Одессу Е.Л.Буницкий, Д.Д.Крылов и А.С.Мулюкин, летом — А.Ф.Дуван-Хаджи и Ф.Г.Александров.

По-разному сложились судьбы высланных ученых в эмиграции. Благополучнее других оказались Б.П.Бабкин и Е.Л.Буницкий: первый в конечном итоге получил профессию и лабораторию в Канаде, второй перебрался в Прагу и преподавал в Карловом университете. Д.Д.Крылов стал профессором медицины Софийского университета. П.А.Михайлов, постепенно отойдя от юриспруденции, занимался в Париже торговлей антиквариатом. Ботаник Г.А.Секачев пытался найти работу по специальности в Болгарии, но после трех лет поисков уехал к брату в Тунис, плохо представляя, чем мог бы там заниматься. На этом его след теряется. А.С.Мулюкину с помощью русской общины Софии с трудом удалось получить место мелкого чиновника, Г.Ф.Александров здесь же преподавал латынь и русский язык в гимназиях и школе. Однако несмотря на географическое и социальное рассеяние, все они не одно десятилетие продолжали ощущать себя органической частью российской «одесской» диаспоры во многих точках мира.

С.М.С.

Палеогеновая эволюция осадконакопления в экваториальной Пацифике

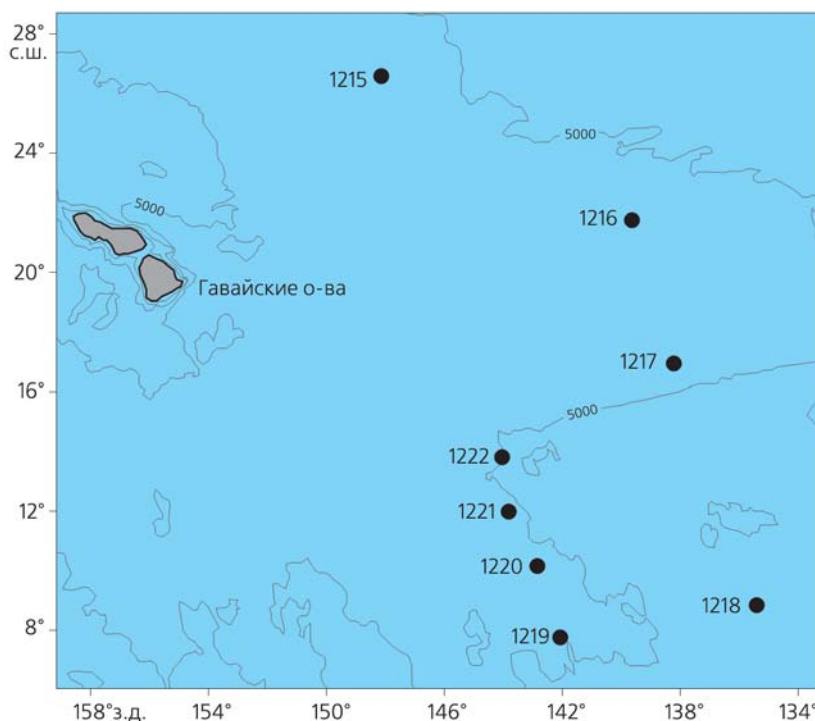
199-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук
Геологический институт РАН
Москва

Тектонические события палеогена и связанное с ними прогрессирующее глобальное похолодание привели к перестройке системы циркуляции в океанах. В частности, в экваториальной части Тихого океана появилась зона дивергенции, характеризующаяся высокой биологической продуктивностью. Скорость осадконакопления биогенного материала резко увеличилась в неогене, когда подъем глубинных вод (экваториальный апвеллинг) особенно усилился [1]. В результате отложения палеогена, содержащие запись важнейших океанологических и климатических событий этого значительного в эволюции океанов периода, оказались засыпанными мощной толщей неогеновых осадков. По этой причине, их состав и строение до настоящего времени плохо изучены.

Бурение в нескольких предыдущих рейсах в этой зоне проводилось с помощью роторного оборудования, с помощью которого трудно получить ненарушенный разрез, особенно когда осадки заключают прослойки очень твердых кремней, затрудняющих бурение. Вместе с тем, в соответствии с моделью движения Тихоокеанской литосфер-



Скважины, пробуренные в 199-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн».

ной плиты в северном направлении, полные разрезы биогенных осадков палеогена должны были сохраниться в глубоководных районах, расположенных в настоящее время вне экваториальной зоны. Здесь они перекрыты тонким чехлом бескарбонатных красных глин и могут быть вскрыты бурением.

Получение таких разрезов стало основной целью 199-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн», который проводился в октябре—декабре 2001 г. в северо-восточной тропической части Тихого океана западнее и юго-западнее Гавайских о-вов. Научными руководителями рейса были М.Лайл (Центр геофизиче-

ских исследований и отдел геологических наук Университета Бойсе, США) и П.Уилсон (Океанографический центр Саутхемптона, Великобритания); Программу океанского бурения представлял Т. Янечек [2]. В рейсе была пробурена 21 скважина в восьми точках (1215–1222), расположенных вдоль меридионального профиля приблизительно от 8°с.ш. до 26°с.ш., который пересекает палеогеновую экваториальную зону. Все они вскрыли под неоген-четвертичными илами палеогеновые, главным образом эоцен-олигоценовые кремнисто-карбонатные осадки, которые достигают максимальной мощности (около 200 м) в скважине 1219; в четырех точках пробурена граница палеоцена и эоцена.

Полученные материалы позволяют установить последовательность наиболее значимых седиментологических, океанологических и палеоклиматических событий, имевших место в пределах экваториальной зоны на протяжении палеогена.

При бурении пограничного палеоцен-эоценового интервала в тропической части Тихого океана выявилось его сложное строение, отличающееся от наблюдавшегося ранее в других районах Мирового океана. Одно из важнейших глобальных событий на границе палеоцена и эоцена — исчезновение многих видов бентосных фораминифер. Оно зарегистрировано также в скважинах 1220 и 1221: в первой из них, например, из 10 палеоценовых видов эту границу пересекают только три. Вместе

с тем, в отличие от большинства других районов, где массовое исчезновение бентосных фораминифер отмечается на одном уровне с отрицательной аномалией изотопа углерода и резкой сменой карбонатных осадков бескарбонатными (вверх по разрезу они вновь постепенно обогащаются карбонатом кальция), последовательность событий в районе бурения в 199-м рейсе была, вероятно, иной.

Здесь в скважинах 1220 и 1221 аналогичная смена также имеет место в непосредственной близости от уровня массового исчезновения бентосной биоты, но выше этого уровня наблюдается сложное чередование различно окрашенных (коричневых, розовых, черных) тонких прослоев бескарбонатных осадков. Наличие этих прослоев в двух скважинах, удаленных на расстояние более 200 км друг от друга, указывает на изменения в химическом составе придонных вод на рубеже палеоцена и эоцена в экваториальной части Тихого океана по крайней мере в региональном масштабе. Интересная находка в пограничных эоцен-палеоценовых осадках — водорослевые цисты (споры) рода *Thoracosphaera*, часто присутствующие в других районах Мирового океана в осадках непосредственно выше границы мела и палеогена, которая также отмечена массовым вымиранием морских организмов.

Полученные материалы позволяют также восстановить колебания глубины карбонатной компенсации (ГКК), т.е. уровня,

ниже которого происходит интенсивное растворение карбоната кальция. Установлено, что в конце палеоцена — начале эоцена он находился на глубине всего около 3200–3300 м в экваториальной зоне (скважины 1219–1221) и 3400–3600 м за ее пределами (скважины 1215 и 1217), но уже в олигоцене он понизился до глубины около 4500–4600 м. Более высокое положение уровня карбонатной компенсации в палеоцене и эоцене в экваториальной зоне по сравнению районами за ее пределами кажется странным, поскольку экваториальная зона характеризуется более высокой продуктивностью карбонатных планктонных микроорганизмов и, соответственно, более низким положением ГКК.

Строение пробуренных разрезов демонстрирует закономерное изменение литологических фаций от древних к более молодым, что подтверждает адекватность модели осадконакопления на движущейся плите, пересекающей высокопродуктивную экваториальную зону [3].

Отмеченные особенности полученных в рейсе материалов не исчерпывают их потенциальных возможностей для реконструкции кайнозойской истории тропической части Тихого океана. Их всесторонний анализ в лабораторных условиях с применением самых современных методов позволит восстановить различные геологические, палеоокеанологические и палеоклиматические события с достаточной детальностью и достоверностью. ■

Литература

1. Mayer L.A., Shipley T.H., Theyer F. et al. // Init. Repts of the DSDP. Washington, 1985. Leg.85. P.947–970.
2. Lyle M.W., Wilson P.A., Janecek T.R. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program. Init. Repts. 2002. Leg.199.
3. Lancelot Y., Larson R.L. // Init. Repts of the DSDP. Washington, 1975. Leg.32. P.925–939.

Жил-был профессор

К 100-летию со дня рождения Т.С. Расса

Ирина Т.Расс,

доктор геолого-минералогических наук

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

Ирма Т.Расс,

доктор биологических наук

*Теоретический центр проблем физико-химической фармакологии РАН
Москва*

Папа жил долго — почти век. Себя он представлял следующим образом: в Институте океанологии есть две достопримечательности — чучело латимерии на первом этаже и Теодор Саулович Расс на пятом. Вот так, не отделяя себя от института и всегда работая, он и прожил свой век.

Родился он 3 декабря 1904 г. в г.Кременце Волынской губернии (ныне Тернопольская обл., Украина). Его родители — Саул Петрович Расс и Адель Абрамовна, урожденная Голодец, получившие высшее медицинское образование в Германии, с 1908 г. жили в Москве, на Знаменке. Врачи-евреи имели право жить вне черты оседлости, а их дети — Гриша (1901 г. рождения), Тема (1904, в будущем Теодор Саулович) и Полина (1905 г.) получали таковое по специальному разрешению московского градоначальника в ответ на прошение «лекаря-еврея». Тема, например, учился в гимназии Н.П.Поповой, откуда и знал необходимую ему в будущем латынь. После революции гимназию преобразовали в Трудовую школу №38 II ступени, которую папа и закончил в мае 1921 г. Из всех послереволюционных партий Теме по названию нравилась партия Трудовиков. Дворник их дома в политическом диспуте с мальчишкой выражал надежду, что вернется Царь-батюшка и всех жидов перестреляет (правда, для родителей Темы, которые занимаются богоугодным делом, делал исключение).

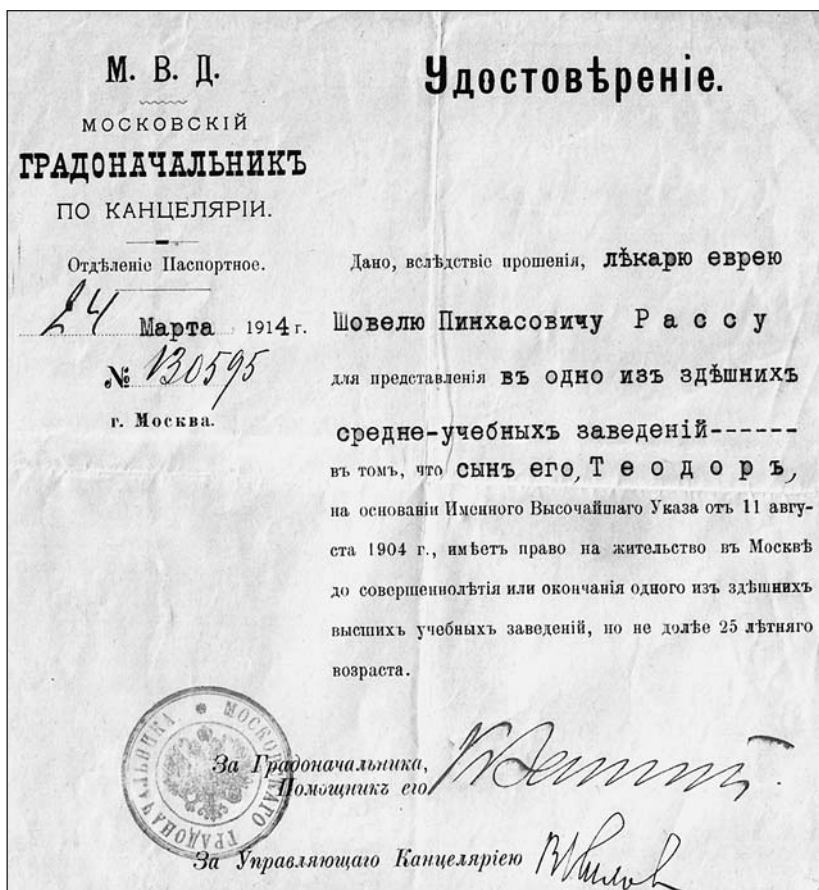
Работать начал в 16 лет: давал уроки; летом 1920 г. был чертежником в Самаре, куда поехал с отцом, командированным в госпиталь Красной Армии ординатором; по окончании школы — заведующим личным столом в Мосгуботделе союза Всемедикосантруд. В 1921 г. по ходатайству этого союза был принят на биологическое отделение физико-математического факультета 1 МГУ. Едва поступив в университет, стал членом студенчес-



Теодор Саулович Расс. 1904—2001.



Тема и Полина. 1910 г.



Разрешение на жительство. 1914 г.

Здесь и далее фото из семейного архива

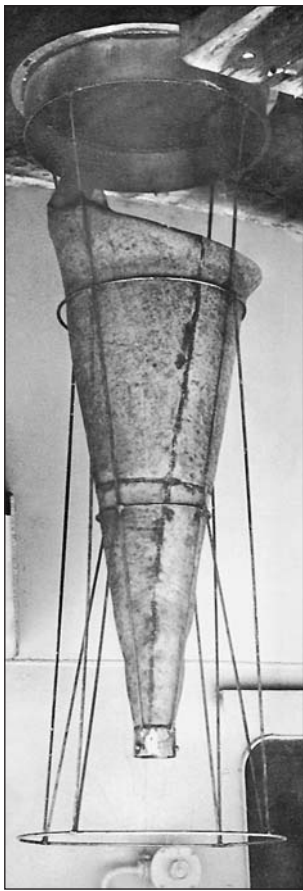
кого отряда помощи голодающим и дежурил на Брянском вокзале для разгрузки приходящих с фронта эшелонов с ранеными, умершими и больными сыпным тифом. Летом 1923 г. работал в совхозе под Каширой и на Кубани в совхозе «Охун», откуда привез в качестве жалованья 1/2 пуда чернослива, 1/2 пуда груш, 10 фунтов фундука. Зимой два раза в неделю демонстрировал микроскопические препараты в Союзе строителей (4 рубля за сеанс). А потом всю жизнь была работа по специальности, которую он выбрал — РЫБЫ, потому что «...рыбы — интереснейшая и, пожалуй, самая разнообразная группа позвоночных животных. Рыб... в два с половиной раза больше, чем птиц, втрое больше, чем лягушек, ящериц и змей, вместе

взятых, в шесть раз больше, чем млекопитающих! Рыбы бывают в длину от 11—12 миллиметров (промысловый филиппинский бычок, 70 000 штук которого идет на килограмм) до 12—18 метров и свыше 13 тонн (китовая акула)».

В своей дипломной работе исследовал строение головного мозга костистых рыб Баренцева моря (банки с «мозгами Теодор Саулыча» много лет хранились у нас дома). После университета в 1925 г. в течение года был единственным сотрудником промыслового отдела Мурманской биологической станции. Его первая статья — про камбалу, один из видов которой он нашел впервые в Кольском заливе. Будучи аспирантом НИИ зоологии при МГУ (1926—1929), каждое лето ездил в экспедиции на Ба-

ренцево, Белое, Каспийское, Японское моря, на Аму-Дарью, в дельту Волги. Зимой в институтах и зоомузеях Москвы и Ленинграда обрабатывал и обобщал летние «уловы». Всю жизнь он хранил благодарную память о своих университетских учителях — А.Н.Северцове (по сравнительной морфологии), Л.А.Зенкевиче (по общей биологии), Л.С.Берге (по ихтиологии и биогеографии) — говорил об этом на ученом совете, посвященном своему 95-летнему юбилею.

Сразу после аспирантуры работал старшим научным сотрудником в Государственном океанографическом институте (ГОИН), который позже стал Всесоюзным институтом морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). Там организовал мальковую лабораторию по изу-



Мальков бим-трал.

чению икры и мальков рыб и такие же — при Астраханской и Гурьевской станциях, при Керченском институте морского рыбного хозяйства и океанографии. В 1934 г. на пяти экспедиционных судах была проведена общая мальковая съемка Северного Каспия. Для сбора материала папа сконструировал специальный бим-трал [1].

В 1938 г. за 19 научных публикаций, без защиты, Т.С.Расса присудили ученую степень кандидата биологических наук, а в 1940 г. он защитил докторскую диссертацию «Исследование ранних стадий развития некоторых костистых рыб Баренцева моря» и стал профессором.

* * *

В мае 1941 г. папу командировали во Владивосток, Посыет, Пе-

тропавловск-Камчатский для подготовки комплексных исследований дальневосточных морей. Война застала его на Камчатке, и он немедленно прибыл в Москву. В августе 1941 г. сотрудников ВНИРО (профессоров и/или негодных к военной службе) с семьями, в том числе и нас, эвакуировали в Астрахань. Через год по вызову ВНИРО папа вернулся в Москву для работы над атласом «Промысловые рыбы СССР» [2], который создавался по распоряжению А.И.Микояна, тогда зам. председателя Совнаркома (правительственное задание — 1940 г.). Т.С.Расс как организатор и главный редактор регулярно докладывал министру рыбной промышленности А.А.Ишкову о состоянии работы: столько-то рисунков готово, столько-то статей написано, а необходимо еще столько-то. Два огромных тома — альбом великолепных цветных рисунков (230 листов) и 787 страниц описания видов (папных статей 41 из 73) — были изданы в Лейпциге в 1949 г. к юбилею Сталина. За эту работу коллектив авторов и художников почти получил Сталинскую премию, однако некий «доброжелатель» написал «куда следует» о приверженности Расса вейсманизму-морганизму, и на всякий случай премию давать передумали. К тому же, в 1948 г. вышла маленькая (всего 64 страницы) книжечка Расса «Мировой промысел водных животных» [3], «исключительная по ценности сводка мирового промысла водных животных. Чрезвычайно насыщена фактическим материалом, великолепные рисунки. Ни в нашей, ни в иностранной литературе не имеется работы, дающей столь полную картину мирового промысла водных животных.» (из отзыва Л.Зенкевича и Г.Никольского, 1945). Впервые мировые уловы были подсчитаны дифференцированно по наиболее важным семействам и видам рыб и беспозвоночных (подобные сводки стали выпускаться в Ежегодниках FAO — Food and Agricultural Organization в

ЮНЕСКО при ООН — только с 1950 г.). Но в этой работе сообщалось, что Советский Союз занимает пятое место в мире по моторизации флота, и в 1949 г. книгу изъяли из продажи и библиотек как содержащую «вредные и аполитические установки» и также за приверженность автора вейсманизму-морганизму [4].

Известный пятый пункт в паспорте определял папину жизнь и работу: в зависимости от отношений нашей страны и Израиля он был то выездным, то невыездным. В частности, его не пустили в Австралийский рейс, научным руководителем которого он был и который планировал и готовил, под совершенно вздорным предлогом — отсутствие в выездном деле еще двух фотографий. Допущенные в рейс сотрудники держали его в курсе работы: присылали ему длинные отчеты (из портов) и постоянно — радиogramмы. Одно время Т.С.Расс был экспертом ЮНЕСКО. Эксперты ЮНЕСКО выбираются в количестве пяти человек из разных стран сроком на пять лет. Папа проработал в этом качестве два года. Когда оказалось, что из всех экспертов только англичанин не был евреем, Расса отозвали, не считаясь с необходимостью уплатить немалую неустойку (вероятно, с целью предотвратить сионистский заговор). Добро бы он был партийным, так ведь нет. Просто он успел стать специалистом: его первая научная статья вышла в 1926 г., а первая на немецком языке — в 1929 г.; через год был уже заведующим мальковой лабораторией во ВНИРО, и в 1940 г. — доктором наук и профессором. И все это до того, как партийность стали считать обязательной для административной должности. В конце 70-х папе оформляли звание заслуженного деятеля науки столь долго, что он, готовя в очередной раз необходимые бумаги, отметил, что заслужить было гораздо легче. А дело было в том, что на такие звания существовала разна-



С женой И.Н.Верховской. 1932 г.

рядка, и он не подходил то по возрасту, то по беспартийности, то по происхождению.

* * *

Надо, однако, написать о маме*, ведь именно она обеспечила папе счастливую возможность заниматься исключительно тем, что его интересовало.

Познакомились они в 1929 г. на Мурмане (мама тогда была студенткой из группы экспериментальных зоологов МГУ) и через год поженились. Первая из нас родилась в 1934 г., вторая — в 1940 г. Мама организовала нашу семейную жизнь таким образом, что в детстве старшая просто побаивалась папы, а младшая накрепко усвоила основное правило: «тише, дети, тише, папа снял сюртук» — это означало:

папа работает... Помнится стихотворение, сочиненное лет в семь-восемь: «Нет большего счастья, чем быть одному — так думает папа, как знать, почему». Мама его очень хвалила за правильное отношение к папиной работе — не мешать, которое в доме было определяющим. Маминой энергии хватало и на научную работу, и на общественную (председатель месткома, когда председателем месткома еще мог быть беспартийный человек, и народный заседатель в суде, где ей удалось восстановить с компенсацией на работе четырех евреев, в позорные годы «борьбы с космополитизмом»), и на семью и на хозяйство. Папа говорил: «англичане имеют массу временных глагольных форм — к такому-то времени действие закончено, или в такое-то время действие продолжается, начавшись гораздо раньше..., но у них нет формы, подходящей для мамы — действие прошло, а время еще не начиналось».

Папино участие в домашних делах и бытовых неурядицах ограничивалось тем, что все, что он зарабатывал или получал (например, пайки по распреде-

лению), «закладывал в клюв и приносил домой», по словам мамы, «был пеликаном. Единственно, до чего был жаден — это до работы». Мама его, конечно, идеализировала, потому что ни детям, ни внукам не удавалось выпросить у него ни кохиновский карандаш, ни колонковую кисточку, а уж если на своем письменном столе он вдруг не находил ластик, была трагедия с воздеванием рук и воплем: «Загубили ластик!» — просто скаредный был на всякую канцелярскую принадлежность. А пеликаном, действительно, был. В эвакуации в Астрахани его, московского профессора, первое время кормили неплохо в Асрыбвтузе, и он ежедневно приносил свой обед (в алюминиевой баночке икру и сырники) нам — детям. В 1991 г. в Москве были сложности с продуктами — очереди за мясом, маслом, яйцами, и порой даже за хлебом. Мамы уже давно не было, и одной из нас приходилось вести папино хозяйство и, в частности, готовить (а предвзвешивать) еду. Приносишь ему котлеты, или что-то другое мясное, а он говорит: «может, это надо Тому (собаке) — ведь он хищник и не может без мяса, а я могу».

Его кредо было: «одни люди работают, чтобы есть, а другие едят, чтобы работать», и он принадлежит к этим другим. В еде-питье был крайне неприхотлив и ел что дадут. Но бывали и исключения. Так, будучи в 1996 г. в Израиле на Тивериадском озере (море Галилейском), из профессионального интереса настоял на заказе эндемичной рыбы тилапии, несмотря на ее дороговизну. Пришлось взять одну порцию этого эндемика на двоих, чтобы уложиться в бюджет.

Папа привыкал к вещам, и мама с огромным трудом могла убедить его купить или сшить костюм. Мы справлялись с этой задачей только вдвоем после полутора, а то и двух месяцев дебатов, с применением обидных

* Ирина Николаевна Верховская, родилась в 1907 г. в Ленинграде и умерла в Москве в 1974 г. от рака. Доктор биологических наук, радиобиолог, пионер в использовании меченых атомов в биологии. Работала в Институте биофизики АН СССР до его перевода в Пущино, а затем в Институте биохимии, где заведовала лабораторией и вела изотопный практикум, почти организовала Центральную изотопную лабораторию как самостоятельный академический институт.



Рассы: сидят Адель Абрамовна и Саул Петрович; слева Григорий с женой и сыновьями, в центре Полина с сыном, справа — Теодор с женой и дочерьми. 1946 г.

аргументов: «Папа, при взгляде на тебя у людей возникает желание тебе материально помочь». На что он возражал: «Что ты глупости говоришь? — мне никто этого не говорил...»

Довольно редко маме удавалось уговорить папу использовать какое-нибудь воскресенье или часть отпуска для «гигиены умственного труда». Отдыхать соглашался только в санатории Узкое. Во-первых, близко (и можно ездить на ученые советы или на заседания Ихтиологической комиссии, Общества испытателей природы или Гидробиологического общества); во-вторых, приличная библиотека (имелась даже подписка National Geographic). Кроме того, в Узком был широкий круг общения с учеными других профессий, например, с физиологом Е.М.Крепсом и его женой (их отдых неоднократно совпа-

дал), с которым было давнее знакомство (с Мурман), совместные рейсы и взаимное уважение [5]. В Узком же познакомился с биофизиком М.В.Волькенштейном, и из их тамошних разговоров о биологическом виде, который, как и индивидуум, появляется, растет, стареет и умирает, потом сложилась научная статья [6].

Папа был доброжелателен и умел слушать. Иногда это занимало телефон часа на полтора, а на мамины упреки папа кротко возражал: «Что ты хочешь — у нее (у него) дар речи». На самом деле просто ему самому было интересно. К науке, к научной работе относился с огромным пиететом и не терпел шуток на эту тему. В каком-то рейсе ему не везло: раз за разом трал приходил пустой; он терпеливо топтался на палубе в ожидании следующего, и наконец трал что-то

принес. Папа кинулся к нему и обнаружил обглоданный скелет селедки, во рту у которой была записка «Теодор Саулыч Расс в море трал бросал не раз; он крутил, крутил лебедку, наконец, поймал селедку». Это устроили специалисты-бентосники (и в их числе Н.Г.Виноградова), которых папа тут же возмущенно обозвал «бентоСвинками», а потом корил себя за несдержанность, опасаясь, что они могут обидеться.

Был такой эпизод. Жил у нас кот Витя, которого во время очередной борьбы с бешенством записали в домовую книгу под фамилией ответственного квартиросъемщика (мамы, Верховской). Так Витька обрел фамилию, прописку, и родственников: маму и нас — сводных сестер. А в это время была Всесоюзная перепись населения (1958). Переписчица пришла

днем, когда мы были дома одни и охотно и весело морочили ей голову, рассказав про папу — профессора, маму — доктора наук, нас обоих — тогда студентов МГУ, и нашего сводного брата Виктора, которого мы «отправили» в духовную семинарию, так как он, мол, будущий служитель культа. Увеличив тем самым население Советского Союза на одну мужскую единицу, да еще нестандартной профессиональной ориентации, мы, довольные собой, вечером за ужином рассказали родителям о нашей проделке. Мама развеселилась, а папа неожиданно рассвирепел и на нее накричал: «Народили дур (дурам тогда было 23 и 17). Я тебе говорил, детей не надо!». Потом снизошел до объяснения, что перепись, мол, дело серьезное, и если каждый опрашиваемый будет резвиться, то возможные последствия трудно оценить.

В 1968 г. в доме одной из нас появились черные тараканы, и папа мечтательно вспоминал, что в студенческие годы он бы дорого платил за каждого, поскольку из них получают прекрасные препараты, на которых видны все системы органов — мышечная, нервная, пищеварительная... Правда, на предложение доставить ему этих тварей бесплатно аргументировал свой отказ тем, что он и так помнит все эти системы, и не только тараканы, и может нарисовать. Папа, правда, умел рисовать хоть мозги, хоть позвонки и помнил (подписывал) их латинские названия. Однако свои художественные способности ценил невысоко и предпочитал, чтобы рыбы в атласе (1949), в томе «Рыбы» («Жизнь животных», т.4, 1971 и 1989) [7] были нарисованы более профессионально.

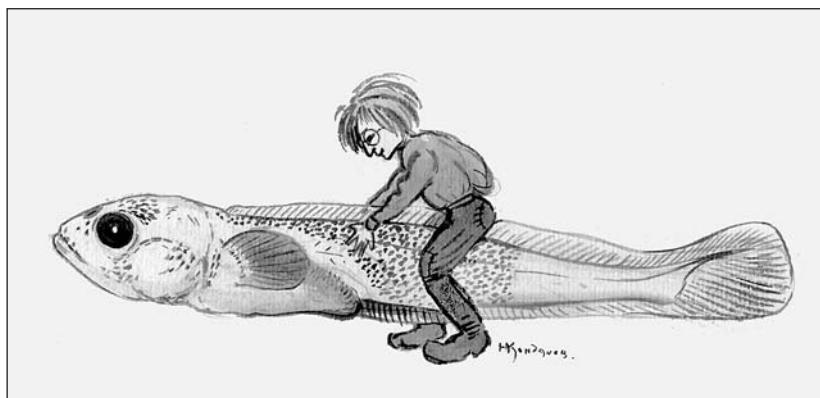
* * *

С одним из лучших советских художников-анималистов, биологом Николаем Николаевичем Кондаковым (1908—1999) папа подружился на Мурмане в конце 20-х годов и постоянно

привлекал его к работе, часто выручая из непростых обстоятельств художнической жизни. Во время войны он спас Колу жизнь: сумел организовать через А.А.Ишкова срочный вывоз на самолете погибавшего от дистрофии Кондакова, буквально «в одеяле», из блокадного Ленинграда [8] для работы над атласом «Промысловые рыбы

СССР». Кондаков рисовал не только научные рисунки и многие из них дарил папе. Глядя на изображение фаз развития водных животных (Русалочек и Водяных), от икринок до взрослых особей, папа каждый раз радовался.

С ихтиологом Евгением Петровичем Рутенбергом (1901—1982) они стали друзьями также



Рисунки Н.Н.Кондакова. Вверху — автопортрет, внизу — фазы развития Водяного.

на Мурмане, в бытность свою там аспирантами. Вместе были в экспедициях и всю жизнь постоянно переписывались, поскольку папа жил в Москве, а Евгений Петрович (для нас с самого рождения «дядя Жека») — в Ленинграде. Дядя Жека был сыном Рутенберга — эсера (участника убийства провокатора попа Гапона), который по личной договоренности с Лениным покинул Советскую Республику и сначала был у Горького на Капри, потом в Палестине, где организовывал университет (Технион) в Хайфе [9], а затем обосновался в Англии. В начале 30-х годов, после аспирантуры и работы на Дальнем Востоке, дядя Жека три года работал на Плимутской станции (в Англии) и вернулся в Ленинград в крайне неподходящее время — после убийства Кирова. Вернулся к вдребезги разбитому корыту: жена с ним заочно развелась и на работу по специальности устроиться не удавалось. Естественно, жизнь Рутенберга в Советском Союзе при такой родословной и таком начале научной карьеры профессионально была менее успешной, чем у папы. Кандидатскую диссертацию по терпугам ему удалось защитить нескоро. В его биографии была и работа служителем Ленинградского зоопарка, и на Командорах в питомнике норок, которых разводили на корм котикам, и ссылка на лесоповал (где он заболел туберкулезом), и работа переводчиком в Институте внутренних морей и в Институте защиты растений, и неизбывная тоска по морским рыбам, по плаваниям в морях и океанах. Его вторая жена Екатерина Тимофеевна Лыхина (физиолог, сотрудница Бехтерева) и наши родители были в числе немногих оставшихся неизменно и бесстрашно «знакомыми» из прошлой его жизни. Папа привлекал его как специалиста к написанию целого ряда статей в «Жизни животных» и в других изданиях, где имел такую возможность. У них были



С.Е.П.Рутенбергом. Ленинград. 60-е годы.

общие интересы и помимо науки: оба собирали монеты и марки с рыбами, разыскивали их и дарили друг другу.

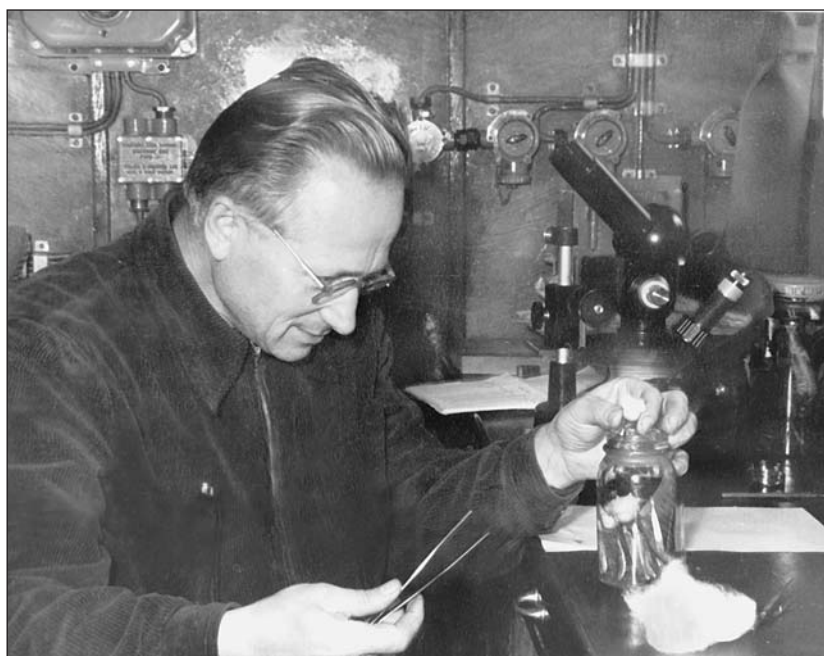
А с гидробиологом членом-корреспондентом АН СССР Вениамином Григорьевичем Богоровым (1904—1971), Венькой, знакомы были с детства, а подружились на первом курсе, когда «инициативный студент» Расс, только что поступивший на биологическое отделение, записывал желающих на практику по зоологии беспозвоночных [10]. После первой сессии вместе готовили препараты, в частности, калянусов для практических занятий. Потом работали в Плавморнине (Плавучем морском научном институте), плавали на «Персее» — экспедиционном судне. Оба испытывали благоговейный восторг перед морем, вдохновивший даже вполне уравновешенного папу на отчет о работе, например, 69-го рейса «Персея» в дилетантских стихах. Богорова вместе с Крепсом в 1930 г., как и Рутенберга, командировали на морскую биологическую станцию в Плимут, но его возвращение было благополуч-

ным. Богоров стал заведующим лабораторией питания рыб с одновременной работой в отделе планктона ВНИРО, и в 1940 г. — доктором наук и профессором.

В 1939 г. после возвращения из экспедиции на Северный полюс был избран академиком и назначен первым заместителем начальника Главсевморпути П.П.Ширшов. Он обратился к Богорову за помощью в обработке привезенных со льдины уникальных проб. У молодых профессоров появилась идея создания специальной комплексной Океанографической лаборатории в системе АН СССР. Тогда директор ВНИРО И.И.Месяцев был отстранен от должности, и в институте стали заниматься главным образом внутренними морями. Вице-президент АН СССР О.Ю.Шмидт на заседании Отделения геолого-географических наук предложил организовать в составе Отделения Океанографическую комиссию (на ее заседаниях присутствовали академики В.И.Вернадский, П.П.Ширшов, А.А.Григорьев; члены-корреспонденты Б.Л.Исаченко, В.В.Шулейкин; профессора Л.А.Зенке-



Первый рейс «Витязя» Справа Л.А.Зенкевич. 1948 г.



За работой. Конец 40-х — начало 50-х годов.

вич, И.И.Месяцев, В.Г.Богоров, Т.С.Расс, А.П.Виноградов, Г.Ю.Верещагин). П.П.Ширшов представил эту комиссию как организацию, изучающую океан в целом, весь Мировой океан, и в марте 1941 г. Президиум АН СССР утвердил Ширшова директором Океанологической лаборатории (с 1942 г. — института), и его заместителем — Богорова.

Какое-то время папа мог работать в Институте океанологии только по совместительству, а постоянным сотрудником стал в 1948 г. Тогда же новый институт получил прекрасное экспедиционное судно «Витязь», на следующий год вышедшее под руководством Л.А.Зенкевича в свой первый рейс. Шмидт, Расс и Богоров соорудили специаль-

ную ихтиопланктонную сетку, которую академик М.Е.Виноградов (тогда студент биофака) назвал ШмиРаБо [10]. В этом же рейсе «Витязь» вышел в открытый океан, и с глубины около 8000 м была доставлена первая в мире глубоководная рыба. Тогда папа начал изучать глубоководных рыб, став в этой области одним из первых в мире специалистов [11, 12].

* * *

Папа плавал на траулерах, на научно-исследовательских судах «Персее», «Книповиче», провел семь рейсов «Витязя» в Охотское и Берингово моря и Курило-Камчатские воды Тихого океана, и пять дальних плаваний на «Витязе» и «Академике Курчатове» в центральную часть Тихого океана (1957—1958), Индийский океан (1959—1960), юго-восточную Пацифику (1968), Карибское море и Мексиканский залив (1973). Был научным руководителем и последнего (65-го) рейса «Витязя» в 1979 г. вокруг Европы из Новороссийска в Калининград на вечную стоянку в качестве музея Мирового Океана.

Он любил рейсы, заполненные работой; собирал новый материал, и, не отвлекаясь, писал статьи в непременно одиночной каюте. С удовольствием и с некоторым удовлетворением, вообще ему несвойственным, рассказывал, что удалось найти, впервые установить, или доказать в той или иной поездке. Например, в Карибском рейсе (комплексном геолого-биологическом) по составу ихтиофауны (рыб, т.е.) удалось установить раннюю принадлежность Тихого и Атлантического океанов к единому океану. Мечтал поучаствовать в погружении...

К специфически-туристским объектам и сувенирам он относился скептически. Например, когда в Китае его повели в Музей Мао Цзедунa, где были собраны вещи «Великого Кормчего» (в том числе нижнее белье), и попросили оставить отзыв



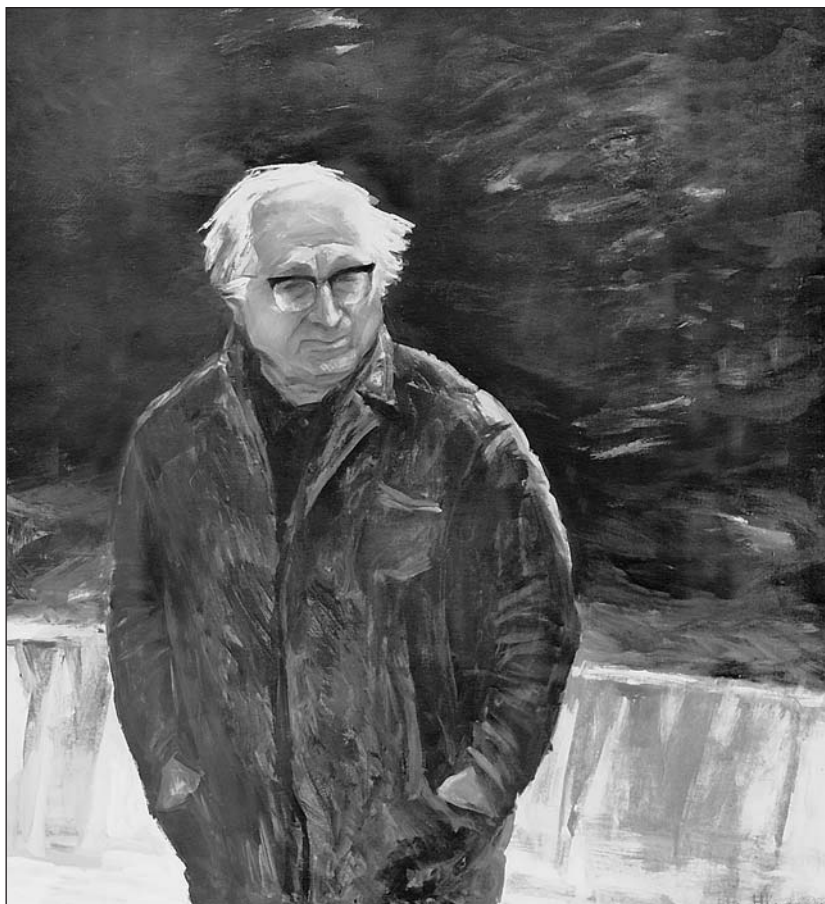
На Кубе, «в пещере Эмилио, во время лова слепых обитателей ее вод». 1965 г. Фотография прислана А.Н.Хименесом, президентом Академии наук Республики Куба.



ШмиРаБо в действии.



Очередной улов. 60-е годы.



Научный руководитель последнего рейса «Витязя». 1979 г.
Портрет. Масло. Художник Н.А.Кириллова.

в книге почетных посетителей, он, недолго подумав, записал: «Никогда ничего подобного не видел». А в Штатах, как все члены делегации, получив в подарок джинсы, бестактно захотел.

Научные рейсы и командировки по возрасту разрешали ему все с большим трудом — требовалось медицинское разрешение, которого он добивался в упорной борьбе с диспансерными врачами. В свой последний рейс он вышел на «Келдыше» в 1986 г. в район «черных курьшиков» в северо-западной части Тихого океана. Последняя его командировка на НИС «Профессор Водяницкий» была в Стамбул (1992), где он выступал с докладом на Международном симпозиуме по экологии

Черного моря. В статье, написанной и вышедшей в последний год папиной жизни, проанализированы причины оскудения рыбного ресурса Черного моря и предложены меры по исправлению ситуации [13].

* * *

В 1987 г. у папы был мелкоочаговый инфаркт миокарда. Кардиолог, приводя статистику (в больнице бывает 30% летальных исходов, а дома 70%), настоятельно рекомендовал лечь в больницу. Ответ был: «Я согласен, чтоб тебе было легче, но ни лечить себя, ни обследовать не позволю». Легко было себе представить, как он бежит в больницу по лестницам и скандалит, рискуя попасть именно в 30%. Пришлось орга-

низовывать инфарктный режим на дому, который он использовал с толком: приходишь к нему и застаешь на стремянке под потолком — понадобилась какая-то конкретная книга именно с верхней полки. Вот в это тревожное время среди дня он звонит одной из нас на работу и сообщает, что ему очень плохо. Естественно, несешься и, не успев отдышаться, спрашиваешь, что плохо?! Оказывается, пару лет назад он с коллегами провел успешный эксперимент по пересадке икры трески из Балтийского моря в Черное. (Это были работы по акклиматизации.) И вот теперь наступил новый этап: 10 тресочек в бочке отправлены самолетом в Севастополь, в Институт биологии южных морей. Но беда в том, что самолет прибывает в Симферополь в субботу, когда институт не работает, и некому их встретить. И рыбки могут погибнуть! Надо немедленно, телеграфом, переслать севастопольским сотрудникам деньги на такси, и он уже им звонил, но пока не дозволился, чтобы просить обязательно встретить эту бочку и довести до аквариума именно в субботу — уж извините, что получилось во внеурочное время... Судьба этих тресочек сложилась благополучно: погибла только одна, остальные прекрасно себя чувствовали, а две выросли до каких-то невероятных размеров.

* * *

Впервые в туристическую поездку мы с ним поехали в Израиль, уже в 1996 г., когда он стал Соросовским заслуженным профессором и появились дополнительные деньги. Он неоднократно повторял: «Спасибо Соросу». Деньги эти мы тратили именно на поездки (на Кипр, на Мальту, в Лион) и на медицину: папа плохо слышал и очень от этого страдал, поэтому мы покупали слуховые аппараты, все более и более совершенные, но также все более и более дорогие.



Гидрологический отряд на борту научно-исследовательского судна «Академик Келдыш». 1986 г.

Во всех городах и странах надолго останавливался в продовольственных магазинах и на рынках перед рыбными прилавками, изучая ассортимент и цены. В естественнонаучных и исторических музеях буквально прилипал к каждому экспонату и все про них вычитывал. И уж совсем невозможно было вытащить его из книжных магазинов.

В течение папиной жизни в доме накопилось безумное количество (17 шкафов по семи полок, от пола до потолка) книг, оттисков, научных журналов, а в последние годы — ксероксов. Мы бесконечно благодарны сотрудникам его бывшей лаборатории и заведующему С.А.Евсеевскому, которые сочли необходимым сохранить собранную за XX век библиотеку и сумели основную ее часть (собственно по

ихтиологии — 3,5 т) вывезти в институт, где она может быть полезна.

Еще были тонны общебиологической, географической литературы, масса справочников, включая медицинские, научно-популярные книжечки, жизнь замечательных людей и их идей, словари, путеводители. Бесконечные географические карты, атласы, рекламные и юбилейные буклеты издательств, морских и других научных учреждений мира. Он всегда помнил, где что лежит или стоит, и к нему имело смысл обращаться за любой справкой.

Первые ученики и аспиранты появились у папы еще до войны, и с тех пор выросло несколько поколений — более 30 талантливых кандидатов и докторов наук, за успехами которых он наблюдал с удовольстви-

ем и гордостью. Горевал, когда их жизнь кончалась (многие из них умерли раньше него).

С 1928 г. папа читал курсы: избранные главы биологии; зоологии позвоночных; эмбриологии; ихтиологии; — на Океанографических курсах ГОИНа, в Мосрыбвузе, на факультете общественных наук Промакадемии им.Сталина. Несколько десятилетий, до 1987 г., читал спецкурсы на биофаке МГУ — мирового рыболовства; ихтиогеографии (увы, неопубликованный).

* * *

Папа был из одним из могикан — энциклопедистов начала века. Чего только он ни знал...

Не знал — химии, неоднократно жалел, что в студенческие годы не успел «взять курс», поскольку необходимо было



Мальта. 1994 г.

еще и зарабатывать. Был сильно близорук и немзыкален (о себе говорил, что узнает единственную мелодию: «тук-тук-тук, разгорелся наш уют»). А в живописи разбирался; владел несколькими языками; знал и любил историю, литературу; очень много читал — эволюция, зоология, анатомия, морфология, ботаника, история, география, экология. Называл себя библиофагом и испытывал дискомфорт, когда нечего было почитать на ночь или в дороге.

Но заставить себя прочесть книги Брежнева даже при необходимости посещения райкома перед какой-то зарубежной командировкой не мог, хотя был дисциплинирован. На всю жизнь он задал себе очень жесткую дисциплину труда и ее неукоснительно соблюдал. Считал своим долгом присутствовать на ученых советах, членом которых он был; и не просто присутствовать, а участвовать в работе (готовился к ним). Говорил: «Надо, значит, надо». В 1950 г. на стоянке «Витязя» в Одессе он оборвался в корабельном лифте; по счастью, легко отделался — сломанной рукой и разбитыми очками. Рука сломалась неправильно, по его настоянию ее повторно слома-

ли, и уже правильно сросшуюся руку, но немножко кривоватую, разработал до такого состояния, что ежедневно на ней подтягивался. Каждый день делал утреннюю гимнастику (вплоть до своих 94 лет, когда врачи рекомендовали ее прекратить). Ежедневно он либо шел на работу, либо, если полагал свое присутствие в институте обязательным, садился за письменный стол, из-за которого вставал к книжным полкам, к папкам, которые у него располагались на всех стульях и диванах, к телефону или к обеду, и работал...

Работал он беспрерывно, как компьютер (но медленнее, из-за чего всегда был собой недоволен). Остались бесконечные таблицы, разложенные по разным папкам с надписями: *Атлантический океан, Тихий океан, Индийский океан, Баренцево море, Черное море, Балтийское море, Каспийское море...* — это для ихтиогеографии; *Gadidae* или *Clupeidae** — отряды, виды, семейства рыб — это для тома «Рыбы», и вообще всякой систематики; лопающиеся папки с надписями *Рыбы яйца*, или *Оогенез*, или *Правило Рассе* —

* Тресковые, сельдевые.

размеры икринок разных рыб, по широте (географической), по глубине, по температуре воды, — это биогеографическое правило [14], в дополнение к известному правилу Бергмана о размерах взрослых особей...

Мы, его дочери, не будучи специалистами в его науке, не можем судить о значимости сделанного и оставленного им. Можем только свидетельствовать, как это делалось — изо дня в день, из года в год, без перерывов на что-нибудь другое, интересное. Папа говорил, что научные работники вообще, и он, в частности, — уроды, ведь столько всего в жизни нужного и важного, а ему вот неинтересно... Сам он считал, что «кое-что удалось в сравнительной морфологии и эмбриологии, в систематике, в исследовании географического распространения, рыбных ресурсов рыболовства и акклиматизации».

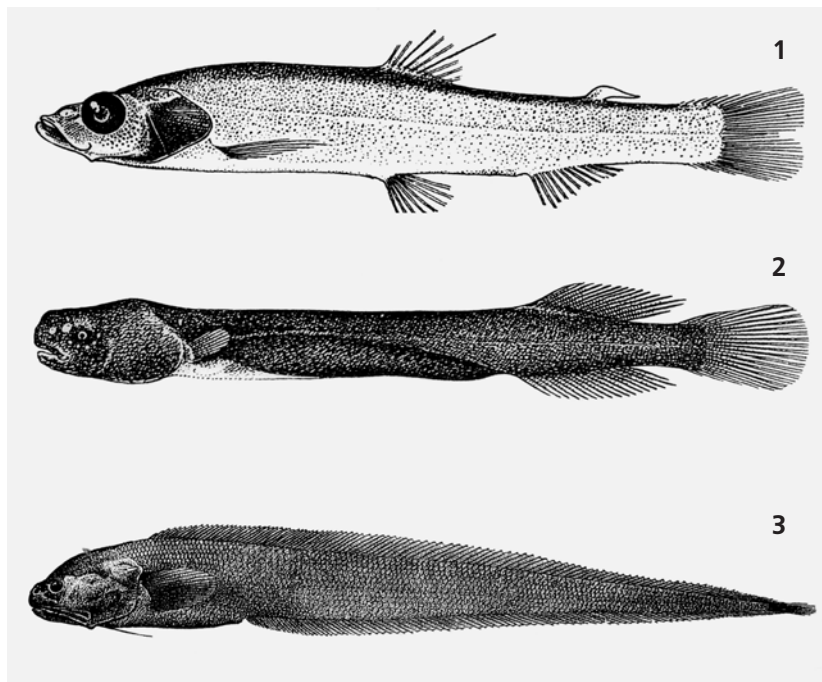
Похоже, пока ему нет равных в изучении размножения и развития морских рыб. Он был первым и главным в новом научном направлении — ихтиопланктологии [15]. Плавающие икринки и личинки он назвал ихтиопланктоном, и этот термин с 30-х годов принят во всем мире. Количественные исследования

ихтиопланктона оказались наиболее простым, эффективным и точным способом установления сроков, мест и условий размножения рыб. Они позволяли ориентировать разведку нерестовых скоплений (мурманских трески и сельди, мойвы, тюльки), охрану нерестилищ (каспийских сельдей), оценку эффективности нереста и урожая молоди (воблы, леща, каспийской сельди), а с первых (дальневосточных) рейсов «Витязя» оказались полезными для организации промысла минтая.

Папа занимался систематикой икринок и личинок морских рыб, используя установленные им географические закономерности строения рыб в раннем онтогенезе, и разработкой новой системы рыб, которую применил при написании тома «Рыбы» в семитомной «Жизни животных» (1971 и 1989). Описанные им впервые один новый род (*Vitiazella*) и три новых вида (*Vitiazella cubiceps*, *Leuroglossus stilbius schmidtii*, *Bassozetus zenkevitchi*) вошли в систематику [15].

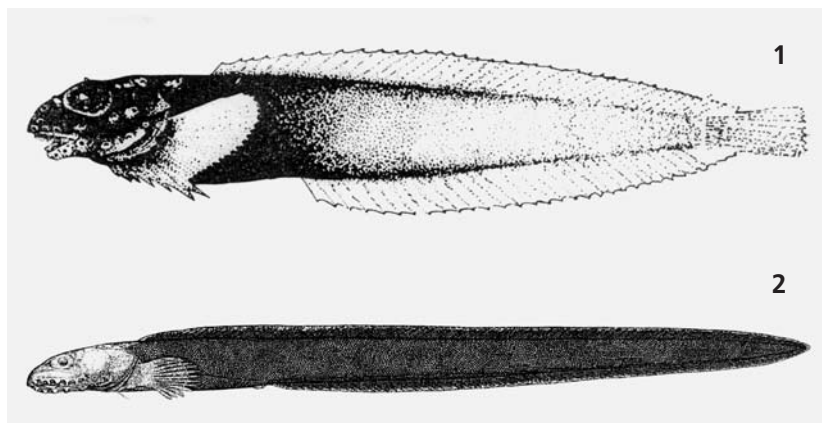
Вместе с коллегами, сотрудниками, учениками теоретически обосновал возможность акклиматизации и меж океанской трансплантации морских рыб — дальневосточных терпуговых, камбаловых, рогатковых в Баренцевом море, балтийской трески — в Черном, дальневосточных желтого горбыля, сельди-илиши и судака — в черноморско-азовском, а азовских хамсы и саргана — в Каспийском [16]. «Все советские ихтиологи — как теоретики, так и практики — должны быть благодарны автору за выпуск такой книги» [17]. Что-то из этого удалось осуществить для воспроизведения и пополнения рыбных ресурсов рыболовства.

К сожалению, Атлас океанографических данных Охотского и Берингового морей (с секретными картами) сожгли в I отделе ТИНРО, а такой же Атлас Желтого моря китайцы и вьетнамцы используют до сих пор.



Глубоководные рыбы Курило-Камчатской впадины, описанные Т.С.Рассом [11]:

- 1 — *Leuroglossus stilbius schmidtii* Rass (длина 135.6 мм);
- 2 — *Vitiazella cubiceps* Rass (длина 60 мм);
- 3 — *Bassozetus zenkevitchi* Rass (длина 662 мм).



Портреты двух расс:

- 1 — *Pseudonotoliparis rassi* Pitruk [19],
- 2 — *Lycenchelys rassi* Andriashev [20].

Специалисты считают чрезвычайно важной книгу Г.У.Линдберга, А.С.Герда, Т.С.Расса «Словарь названий морских промысловых рыб мировой фауны» [18]. Два ихтиолога и лингвист взялись за эпохальную «нетленку», но Линдберг умер во время

этой работы, и папа вытянул ее за двоих. В Словаре названия на сотне языков и наречий около 3000 видов рыб из 260 семейств.

Папе хотелось, чтобы всем были интересны его рыбы, и он писал про них не только науч-

ные статьи (350 штук), но и научно-популярные, в том числе и в «Природе»*. Мог рассказывать о рыбах и рейсах несильно образованным журналистам, не раздражаясь, старался, чтобы хотя бы мы — его дочери были пограмотнее: иваси — вовсе не

* Замечательный случай биологической связи рыбы и краба (1950. №7. С.68—69); Глубоководные рыбы дальневосточных морей (1953. №2. С.107—110); Пути обогащения ихтиофауны СССР (1958. №4. С.44—47); Рыбы самых больших глубин (1958. №7. С.107—108); Целакант — яйцекладущая рыба (1972. №10. С.110); Солончатководные рыбы, их разведение и акклиматизация (1975. №12. С.58—67); Оскудение рыбных богатств Черного моря (1994. №5. С.66—73).

сельдь, северная навага мельче и вкуснее дальневосточной, печень минтая ценнее тресковой, а глубоководные нототения и ледяная рыба водятся в Южных водах.

Папу знали в Мурманске, Ленинграде, Калининграде, Одессе, Севастополе, Владивостоке, Петропавловске-Камчатском; в Норвегии, Дании, Турции, Англии, Индии, Японии, Австралии и Новой Зеландии, Штатах, Канаде, Мексике и Перу. Он был классик, долгое время живой, и поскольку был всегда, мы позволяли себе называть его птеродактилем. В 1991 г. к нему обратились за разрешением назвать

новый вид *Pseudonotoliparis* его именем и прислали фотографию этой рыбы. Папа, разглядывая ее, нашел, что она на него похожа, и согласие дал. Так она и называется теперь — *Pseudonotoliparis rassi* Pitruk, 1991. Вообще, его фамилию носят еще четыре вида — *Aphyonus rassi* Nielsen, 1975, *Scalpellum theorassi* Zevina, 1975, *Diaphus rassi* Kulikova, 1961, *Lycenchelys rassi* Andriashev, 1955. Пусть бороздят океаны, размножаются. Было бы правильно, чтобы наряду с ними бороздил океан какой-нибудь, пусть маленький, научно-исследовательский корабль «Профессор Расс».

Литература

1. Расс Т.С. // Зоологич. журнал. 1940. Т.19. Вып.3. С.510—515.
2. Промысловые рыбы СССР. М., 1949.
3. Расс Т.С. Мировой промысел водных животных. М., 1948.
4. Блох А.М. Советский Союз в интерьере нобелевских премий. СПб., 2001.
5. Крепс Е.М. Последняя экспедиция «Витязя». М., 1983.
6. Волькенштейн М.В., Расс Т.С. // ДАН СССР. 1987. Т.295. №6. С.1513—1516.
7. Жизнь животных. Т.4. Рыбы. М., 1971; 2-ое издание — М., 1989.
8. Иванов Б.Г., Гептнер М.В. // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы, отд. биол. 1999. Т.104. Вып.4. С.70—74.
9. Губерман И. Закатные гарики. Пожилые записки. М., 1999. С.67—69, 76.
10. Кан С.И., Богоров Г.В., Богоров Л.В. Вениамин Григорьевич Богоров. М., 1989.
11. Расс Т.С. // Труды Института Океанологии АН СССР. 1955. №12. С.328—339.
12. Расс Т.С. // Тихий океан. М., 1967. С.139—144, 228—246. (Переведен на английский и японский языки, удостоен Государственной премии 1977 г.)
13. Расс Т.С. // Вопросы ихтиологии. 2001. Т.41. №6. С.742—749.
14. Расс Т.С. // Труды Института Океанологии АН СССР. 1986. Т.116. С.152—168.
15. Евсеев С.А., Парин Н.В. // Вопросы ихтиологии. 2002. Т.42. №5. С.714—720.
16. Расс Т.С. Рыбные ресурсы Европейских морей СССР и возможности их пополнения акклиматизацией. М., 1965.
17. Пузанов Н.Н. // Зоологический журнал. 1967. Т.56. №12.
18. Линдберг Г.У., Герд А.С., Расс Т.С. Словарь названий морских промысловых рыб мировой фауны. Л., 1980.
19. Питрук Д.Л. // Вопросы ихтиологии. 1991. Т.31. №5.
20. Andriashev A.P., Mecklenburg C.W. et al. // Amer. Fish. Soc. Bethesda. 2002. №1037.

Новости науки

Астрофизика

Ритмика магнитных процессов на Солнце

Американским астрофизикам во главе с Н.Гопалсвами (N.Gopalswamy; Центр космических полетов им.Годдарда НАСА) удалось выяснить, какой именно фактор играет основную роль при очередном переориентировании магнитных полей на полюсах Солнца. Как оказалось, это корональные выбросы, что было установлено при анализе изображений светила, сделанных с космического аппарата «SOHO» («Solar and Heliospheric Observatory»), орбита которого пролегает в 1.5 млн км от Земли. Изучено около 7 тыс. случаев таких выбросов, зарегистрированных между 1996 и 2002 г.

Большинство бурных корональных извержений происходит в низких и средних широтах Солнца, т.е. там, где появление солнечных пятен указывает на возникшие в магнитных полях нарушения. Именно эти области всегда привлекали внимание астрофизиков — процессы в них могут положить начало магнитным бурям, опасным для Земли. Группа Гопалсвами особенно тщательно исследовала те 1200 корональных выбросов, которые ушли в космическое пространство с широт выше 60°. Сопоставление времени этих извержений с полученными на Земле данными о характере магнитных полей в приполярных областях позволило обнаружить неизвестную ранее корреляцию между ними.

Как выяснилось, полярные возмущения имеют максимальную интенсивность в периоды длительностью примерно по 18 мес, за которые магнитные поля изменяются, то опадая, то заново воз-

буждаясь. Но как только новое магнитное поле стабилизируется, выбросы корональных масс прекращаются. К аналогичным выводам привели данные, попутно полученные военными спутниками США в период с 1979 по 1985 г.

Участники работы полагают, что каждый подобный выброс отрывает от основного массива магнитной структуры ее фундамент — волокна полярной короны. Близкое к поверхности постоянное течение плазмы, идущее от экватора, непрерывно отталкивает магнитное поле в направлении полюсов. Когда 11-летний цикл активности близится к завершению, волокна образуют род арки, которая вздымается над поверхностью Солнца и вторгается в его корону. Основание арок «заякорено» на самом светиле; это последний «оплот» старой структуры магнитного поля, удерживающийся до тех пор, пока высокоэнергетичные корональные выбросы не растерзают их миллиардами тонн плазмы, извергнутыми из короны. Выброс ликвидирует волокна полярной короны и изменяет структуру магнитного поля так, что процесс переполюсовки окончательно завершается...

По мнению теоретика физики Солнца Бун Чай Лоу (Boon Chye Low; Национальный центр атмосферных исследований США в Боулдере), теперь стало очевидным: высокоширотные выбросы корональных масс на светиле не имеют прямой связи с уже неплохо изученными солнечными пятнами, возникающими около экватора. Ныне ученые приближаются к пониманию всей ритмики магнитных процессов на нашей «дневной звезде».

Science. 2003. V.302. №5650. P.1490 (США).

Астрономия

Определение массы коричневого карлика

Астрономам известно уже несколько сотен чрезвычайно маломассивных звезд и коричневых карликов (их иногда называют субзвездными, подчеркивая, что до «настоящих» звезд они не дотягивают), но фундаментальные свойства этих необычных объектов, например масса и температура поверхности, известны все еще довольно плохо. Проблема состоит в том, что у холодных звезд не существует однозначной зависимости между светимостью и массой. Этим они отличаются от «нормальных» звезд, в ядрах которых горит водород. Точнее, светимость и поверхностная температура холодных карликовых звезд зависит не только от массы, но и от возраста. Поэтому более старый и массивный холодный карлик может иметь точно такую же температуру, как более молодой, но менее массивный.

Одна из основных целей современной астрофизики состоит в получении независимых оценок массы холодных карликов. Это возможно, если объект состоит членом двойной системы. Одну из этих систем — 2MASSW J0746425 + 2000321, которая находится на расстоянии 40 св. лет от Солнечной системы, — на протяжении четырех лет исследовала международная группа астрономов под руководством Э.Буаи (Н.Боуи; Институт внеземной физики Общества им.М.Планка, Германия). Из-за тусклости холодных карликов для этих исследований пришлось привлечь самые мощные современные телескопы, включая VLT (Очень большой телескоп),

«Кек-1» и «Джемини-Север» (Гавайские о-ва, США), а также космический телескоп «Хаббл». Наградой стало первое точное измерение массы субзвездного объекта, да не одного, а сразу двух.

Высокое угловое разрешение всех примененных инструментов позволило различить обе звезды в двойной системе и на протяжении четырех лет следить за их относительным движением. Сделать это было нелегко: угловое расстояние между двумя компонентами пары очень мало: от 0.13 до 0.22". Из-за размывающего эффекта земной атмосферы разделить эти звезды можно лишь с помощью различных технических ухищрений. На VLT, например, для наблюдений 2MASSW J0746425+2000321 была использована система адаптивной оптики. Ее действие основано на измерении качества изображения в реальном времени (до 100 раз в секунду) и подаче корректирующих сигналов на небольшое деформируемое зеркало, находящееся перед приемником излучения. Зеркало непрерывно меняет форму так, что возмущающий эффект атмосферы нейтрализуется. Эта технология улучшила разрешение по крайней мере в 10 раз.

За четыре года относительные положения компонентов двойной системы 2MASSW J0746425 + + 2000321 были измерены семь раз, благодаря чему авторы работы смогли с хорошей точностью определить ее орбитальные параметры. Оказалось, что период обращения пары составляет чуть более 10 лет при большой полуоси орбиты 2.5 а.е. Этих данных достаточно, чтобы по третьему закону Кеплера вывести общую массу системы — около 0.15 M_{\odot} . Затем астрономы использовали фотометрические данные, а также спектры, полученные с помощью телескопа «Хаббл», чтобы изучить оба объекта более подробно. Выяснилось, что звезды имеют примерно одинаковую температуру поверхности — около 1800 К. Они довольно молоды (по астрономическим масштабам) — всего несколько сотен миллионов лет. Более массивная звезда имеет массу от 0.075 до

0.095 M_{\odot} , меньшая — от 0.052 до 0.072. Таким образом, система 2MASSW J0746425+2000321 состоит, очевидно, из коричневого карлика, вращающегося вокруг чуть более массивной карликовой звезды. Это первая система из субзвездных объектов, изученная с такой тщательностью. Не исключено, что ей суждено стать «розетским камнем» в новой области астрономии — астрофизики маломассивных звезд.

<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2004/pr-16-04.html>

Астрономия

Взглянуть на астероид по-новому

Близкоземельный астероид 6489 Голевка стал объектом изучения международной группы астрономов в составе С.Чесли (S.Chesley; Лаборатория реактивного движения НАСА в Пасадене), Д.Вокрухлицкого (D.Vokrouhlicky; Карлов университет в Праге), М.Нола (M.Nolan; Обсерватория Аресибо в Пуэрто-Рико) и др. Это небесное тело диаметром около 530 м им удалось надежно наблюдать методом радиолокации с помощью гигантской чашеобразной антенны Обсерватории Аресибо в периоды его максимального сближения с Землей в 1991, 1995 и 1999 гг. В следующий раз астероид подойдет к нашей планете лишь в 2046 г. В наблюдениях активно участвовала и радиообсерватория Голдстон (штат Калифорния). Уточнена форма астероида, скорость обращения вокруг собственной оси, построено достаточно четкое его изображение и определен центр масс.

Чрезвычайно полезным для исследования оказалось применение данных о так называемом эффекте Ярковского. Это явление представляет собой слабое негравитационное ускорение, испытываемое астероидами и метеорными телами под воздействием солнечного излучения, которое тело сперва поглощает, а затем переизлучает в инфракрасной полосе спектра, причем между этими

процессами возникает пауза, обусловленная тепловыми характеристиками поверхности самого метеора или астероида. Такие явления с учетом орбитальных и вращательных характеристик тела приводят к медленному, но верному смещению направления главной оси его орбиты. За миллионы лет подобный дрейф может удалить эти объекты из главного пояса астероидов в область резонанса, где одерживают верх уже гравитационные возмущения, направляя их во внутреннюю часть Солнечной системы. Здесь-то и может возникнуть опасность столкновения с Землей.

Эффект Ярковского способен также объяснить, почему возраст небесных тел, определяемый по степени облученности космическими лучами, оказывается слишком большим по сравнению с теорией и почему семейство астероидов столь сильно рассеяно в пространстве. Наконец, немаловажно и то, что учет этого явления позволит установить вероятность опасного сближения астероида с нашей планетой.

До сих пор реальность эффекта Ярковского подтверждалась лишь в отношении искусственных спутников Земли. Но Вокрухлицкий с соавторами два-три года назад указывал: эту проблему можно изучать путем точного определения орбит близкоземельных астероидов, имеющих диаметры до нескольких километров, при условии, что четкие радиолокационные данные будут охватывать период не менее десятилетия. Тогда же был назван весьма удобный объект таких исследований — именно астероид 6489 Голевка.

Наблюдения и анализ полученных ими результатов (вероятный состав астероида, степень теплопроводности и трещиноватости его поверхности, местонахождение центра масс, вращение вокруг собственной оси, давление солнечного ветра, гравитация планет и других астероидов, а также иные параметры) доказали действенность эффекта Ярковского и его применимость для подобных астрономических и аст-

рометрических исследований. Местоположение астероида 6489 Голевка на орбите из-за эффекта Ярковского сдвигается примерно на 15 км, что соответствует запаздыванию радиолокационного сигнала на 100 мкс.

Science. 2003. V.302. №5651. P.1739 (США).

Астрономия

Создан новый каталог скоплений галактик

Скопления галактик содержат сотни и тысячи галактик и некоторое количество темной материи. Относительно близкое скопление в созвездии Волосы Вероники насчитывает, например, тысячи галактик и простирается более чем на 20 млн св. лет. Другой хорошо известный пример — скопление в созвездии Девы. Находясь на расстоянии около 50 млн св. лет от нас, оно тем не менее занимает на небе область поперечником более 10° (в 20 раз больше полной Луны)!

Распределение вещества во Вселенной далеко от равномерности: звезды собраны в галактики, галактики — в скопления, а те — в сверхскопления. Эта упорядоченность на всех масштабах, от самых мелких до самых крупных, является реликтом ранней эпохи формирования Вселенной — так называемого «инфляционного» периода, когда микроскопические флуктуации плотности дали начало куда более крупным структурам. Скопления галактик образовались в самых плотных областях Вселенной, и потому они позволяют проследить крупномасштабную структуру нашего мира.

Руководствуясь этими соображениями, группа европейских астрономов под руководством Х.Бёрингера (H.Böhringer; Институт внеземной физики Общества им.М.Планка, Германия) предприняла масштабное исследование — программу по обзору скоплений галактик REFLEX (ROSAT-ESO Flux Limited X-ray cluster survey — Рентгеновский обзор ROSAT-ESO с ограничением по потоку). Поскольку около одной пятой части опти-

чески невидимой массы скопления существует в виде очень горячего диффузного газа с температурой порядка нескольких десятков миллионов градусов, скопления галактик являются мощными источниками рентгеновского излучения. Поэтому их проще всего обнаруживать с помощью рентгеновских телескопов.

Для своего исследования астрономы сначала отобрали объекты-кандидаты по атласу рентгеновского неба, созданному с помощью немецкого спутника «ROSAT». Затем выполнили кропотливую работу по отождествлению скоплений в видимом диапазоне и определению их красного смещения (т.е. расстояния до них); спектры для этого были получены в период 1992—1999 гг. на нескольких телескопах европейской обсерватории Ла-Силья в Чили. И вот, наконец, двенадцатилетняя программа REFLEX завершилась публикацией уникального каталога с характеристиками 447 самых ярких рентгеновских скоплений южного неба. Более половины из них открыты в ходе обзора.

Статистический анализ каталога REFLEX — самого большого в своем роде — позволил участникам программы сделать вывод, что средняя плотность Вселенной составляет 0.27—0.43 от критической (при плотности выше критической расширение Вселенной должно в будущем смениться на сжатие). Очень важно, что эти ограничения совершенно независимы от других методов, используемых в настоящее время в качестве доказательства существования темной материи.

Каталог REFLEX послужит и многим другим полезным целям. С его помощью астрономы лучше поймут процессы, способствующие нагреву газа в скоплениях, изучат влияние межгалактической среды в скоплении на каждую отдельную галактику. Кроме того, такой каталог — хорошая отправная точка для поиска гравитационных линз, в которых скопление ведет себя подобно громадному увеличительному стеклу, позволяя наблюдать слабые и удаленные объ-

екты, которые без этого были бы недоступны современным телескопам.

<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2004/pr-15-04.html>

Планетология

Странные магнитные поля Урана и Нептуна

Пролет «Вояджера-2» вблизи Урана в 1986 г. и Нептуна в 1989 г. принес неожиданную информацию о строении магнитных полей этих планет. У Земли, Сатурна и Юпитера магнитные поля имеют два четко выраженных полюса, расположенных приблизительно на оси вращения планеты. У магнитных полей Урана и Нептуна строгой дипольной структуры нет, а линия основных полюсов сильно наклонена к оси вращения, на Уране примерно на 59° , а на Нептуне — на 47° . Для объяснения этого явления предлагалось несколько механизмов, но ни один не получил всеобщего признания. Однако новое численное моделирование динамо-эффекта, генерирующего магнитные поля, показывает, что морфология поля может быть следствием своеобразной внутренней структуры этих планет¹. Тонкая электропроводящая оболочка, окружающая большое твердое ядро планеты с низкой проводимостью, создает динамо-эффект, способный генерировать наблюдаемые поля. Хотя полеты к Урану и Нептуну пока не запланированы, новые модели отчасти можно проверить по данным о структуре магнитных полей других планет.

Численная модель, представленная планетологами Гарвардского университета², показала, что, изменяя параметры внутренней структуры планеты, можно «создать» магнитное поле, подобное полям Урана и Нептуна.

Все модели, демонстрирующие генерацию магнитных полей планет, состоят из одних и тех же ком-

¹ Aurnou J. // Nature. 2004. V.428. P.134—135.

² Stanley S., Bloxham J. // Nature. 2004. V.428. P.151—153.

понентов: они содержат зону электропроводящей жидкости и источник энергии, обеспечивающий ее движение. Например, модель поля Земли учитывает богатую железом жидкую внешнюю часть ядра (электропроводящая жидкость) и охлаждение планеты (или радиоактивное нагревание), стимулирующее конвективные потоки в недрах. Другой необходимый элемент — вращение планеты, организующее движение жидкости: упорядоченное ее перемещение может породить крупномасштабное магнитное поле, а хаотическое его разрушает. И только когда эти условия соблюдены — в модели или в самой планете, — движущаяся электропроводящая жидкость превращается в динамо-машину, генерирующую магнитное поле.

Для планет земного типа конвективные движения обычно моделируются в толстой вращающейся оболочке, состоящей из жидкого проводника. Эта оболочка окружает относительно небольшое, твердое, электропроводящее внутреннее ядро. В результате получается дипольное магнитное поле, как у магнитного стержня, вытянутого вдоль оси вращения планеты. Подобная ситуация и у гигантов — Юпитера и Сатурна. У них маленькое твердое ядро окружено толстым конвективным слоем металлического водорода (под большим давлением водород диссоциирует на свободные протоны и электроны, поэтому его и называют металлическим).

Но такие модели не могут описать всех особенностей магнитных полей Урана и Нептуна, которые, по данным «Вояджера-2», квадрупольны (т.е. похожи на комбинацию двух магнитных стержней — с двумя северными и двумя южными полюсами), а кроме того, как уже отмечалось, главная ось полей заметно отклоняется по направлению от оси вращения. Стенли и Блоксем построили численную модель, воспроизводящую эти особенности. Они предположили, что вместо толстой конвективной оболочки и твердого ядра на Уране и Нептуне имеется тонкий внешний конвективный слой

ионизованной жидкости, окружающий внутренний жидкий ионизованный «океан», где конвективное движение отсутствует. Детальные расчеты показывали, что при наблюдаемых низких тепловых потоках из недр этих планет конвективные движения могут возникать только в тонких приповерхностных слоях Урана и Нептуна, толщина которых составляет 20—25% радиуса планеты. Оказалось, что относительно простые изменения в структуре конвективной области могут привести к существенным изменениям геометрии магнитного поля, генерируемого динамо-эффектом. Причина таких изменений остается не до конца понятной. Не выяснено также, насколько устойчиво поведение этих сложных магнитных полей, поскольку пока были рассчитаны модели в сравнительно узком диапазоне параметров.

К сожалению, в ближайшие годы не запланированы экспедиции к Урану и Нептуну, а значит, не представится возможности уточнить структуру их магнитных полей. Остается надеяться, что работа космических зондов «Кассини» вблизи Сатурна и «Мессенджера» вблизи Меркурия позволит проверить, насколько верна модель Стенли и Блоксема. Но важно уже то, что она демонстрирует способность базового процесса — конвекции во вращающейся сферической оболочке с электропроводящей жидкостью — объяснять основные структуры магнитных полей всех планет в Солнечной системе.

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

Физиология растений

Что определяет максимальную высоту дерева

Самые высокие живые организмы на Земле — деревья: высота некоторых из них превосходит 100 м. Что же мешает таким гигантам вырасти еще выше? На этот

вопрос попытались ответить Дж.Кох (Университет Северной Аризоны, США) и его коллеги из других университетов США¹. Они исследовали вечнозеленые секвойи *Sequoia sempervirens* из национального парка «Humboldt Redwoods» в штате Калифорния, выбрав экземпляры выше 110 м, включая и самое высокое дерево на планете. Чтобы добраться до крон секвой, приходилось из мощного лука выпускать стрелы с прикрепленными на концах прочными нитями, после чего через ветви протягивали веревки, помогавшие забраться наверх.

Как известно, вода от корней дерева поднимается по ксилеме — сосудистой ткани, а движут ее вверх, против силы тяжести, капиллярные силы. Чем выше дерево (а тем самым высота водяного столба), тем больше сила тяжести затрудняет подъем. Иными словами, давление водяного столба в ксилеме неуклонно падает с высотой; в итоге столб воды разрывается с появлением пузырьков воздуха (эмболии). На высотах больше 110 м, т.е. у вершин секвой-гигантов, давление в ксилеме очень близко к минимально возможному, при котором еще не возникает эмболии. Однако во время засух избежать падения давления ниже допустимого уровня не удастся — верхняя часть кроны, вероятно, отмирает, но потом заменяется новой. Это согласуется с тем, что почти все высокие секвойи имеют несколько вершин. Как и давление в ксилеме, линейно с высотой снижается тургор — внутреннее гидростатическое давление в живых клетках, необходимое для их роста и разворачивания листьев. При этом клетки на больших высотах мельчают, их стенки утолщаются, а листья становятся мелкими и плотными (регистрируется увеличение соотношения массы листа к его площади). Чтобы уменьшить риск возникновения эмболии и потери тургора, отверстия устьиц сокращаются. Но это имеет и негативное последствие —

¹ Koch G.W. et al. // Nature. V428. P851—854.

через устьица поступает меньше CO_2 . В результате эффективность фотосинтеза неумолимо снижается с высотой, что напрямую связано с установленным непосредственными измерениями падением концентрации CO_2 внутри листьев и опосредованно — с вышеописанными изменениями в их структуре (в плотных мелких листьях повышена доля нефотосинтезирующей ткани, так как их клеточные стенки толще).

Эти четыре физиологических фактора — трудности обеспечения вершины водой, снижение эффективности фотосинтеза, падение уровня CO_2 внутри листьев и увеличение их плотности — в совокупности ограничивают максимальную высоту деревьев. Кох с коллегами оценили максимально возможный теоретически рост секвой, проанализировав, на каких высотах изменения соответствующих параметров станут критическими. Полученное значение 122–130 м превышает рост известных на сегодняшний день самых высоких деревьев. Было предложено несколько объяснений такому несовпадению. Возможно, например, что секвой-гиганты все еще продолжают расти или же они могли быть просто вырублены. Отмечено также, что секвой наиболее засушливых мест не отличаются столь большим ростом, но при этом значения параметров, определяющих высоту дерева (минимальное давление в ксилеме и т.д.), у них сравнимы с их значениями на вершинах секвой-гигантов.

Таким образом, предел высоты дерева определяется доступностью воды. Высота, которой могут достигнуть секвой, непостоянна, она меняется со временем в зависимости от климатических и атмосферных перемен — ведь на водообеспечение и углеродный баланс дерева влияет сумма факторов (уровень концентрации CO_2 в атмосфере, изменения температуры и влажности внешней среды).

© Липина Т.В.,

кандидат биологических наук
Москва

Молекулярная биология. Медицина

«Холодная» амплификация ДНК

Многие диагностические тесты основаны на амплификации — «размножении» содержащегося в пробе конкретного фрагмента ДНК для последующего анализа с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР). Фермент, копирующий ДНК, синтезирует эту копию по шаблону — одной из цепей, в результате образуется двухцепочечная ДНК, и поэтому полученную молекулу необходимо вновь разделить для дальнейшего копирования на две одинарные цепочки. Достигается это кратковременным нагреванием с последующим охлаждением до температуры, при которой может работать копирующий фермент. Недостаток метода состоит в том, что он нуждается в дорогостоящем оборудовании для многократного нагрева и охлаждения реакционной смеси.

М.Винсент (M.Vincent; Биологической лаборатории Новой Англии в Беверли, США) с коллегами описали новый, не требующий нагревания метод амплификации ДНК, названный изотермической амплификацией. В предложенной ими процедуре двухцепочечная ДНК расплетается на одинарные цепочки ферментом геликазой. Этот белок движется вдоль молекулы ДНК, временно разрывая связь между цепочками. Добавляя геликазу к реакционной смеси, подобной той, что используется в ПЦР, процесс амплификации можно проводить при постоянной низкой температуре.

Подобно обычной ПЦР, изотермическая амплификация позволяет увеличивать содержание ДНК в пробе в миллионы раз. Кроме того, авторы предлагают способы усовершенствования метода, что делает его возможной альтернативой стандартной ПЦР, особенно в тех случаях, когда применение циклического нагрева и охлаждения невозможно или нежелательно (например, в домашних

или полевых условиях в качестве диагностического теста на определенную генную мутацию или инфекцию).

Nature. 2004. V.430. №6998. P.416
(Великобритания).

Этология

Песенный дуэт кустарникового крапивника

В тропическом и субтропическом поясах гнездятся птицы не перелетные, они круглый год живут на своих территориях. Пары здесь сохраняются не один сезон, как у наших мелких воробьиных птиц, а иногда партнеры остаются верными друг другу на протяжении всей жизни. Неудивительно, что именно в тропиках чаще встречается необычная форма пения — дуэтное (или антифональное), когда самец и самка поют столь согласованно, будто одна особь.

Структуру дуэта одноцветного кустарникового крапивника (*Thryothorus modestus*), одного из лучших мастеров парного пения, подробно изучали в Коста-Рике шотландские биологи во главе с Н.Манном¹. Крапивники населяют поросшие кустарником заброшенные пастбища и заболоченные земли. Во время пения самец нередко садится на вершине куста, а самка, ничем по внешнему виду от самца не отличающаяся, устраивается пониже, в одном-двух метрах от партнера. Самое удивительное в этом дуэте — филигранная согласованность партий самца и самки. Начинает всегда самец. Для этого в его репертуаре есть специальная индукционная фраза (I-фраза), представляющая собой набор из нескольких быстро следующих друг за другом высокочастотных звуков общей длительностью в 1 с. Ответ самки в виде частотно-модулированной A-фразы длится 0.5 с. Затем снова подключается самец, на этот раз с B-фразой, которая тоже продолжается около 0.5 с. И вслед снова партия самки, исполняющей

¹ Mann N. // Condor. 2003. V.105. №4. P.672–682.

А-фразу, и т.д. Весь дуэт можно записать как $I(AB)^n$, где в среднем $n = 3.6$. Паузы между фразами самца и самки необычно коротки — всего лишь 0.06 с. Каждая особь имеет в своем репертуаре до 20 различных вариантов фраз (самцы — I и B, самки — A). Начиная дуэт с определенного варианта I-фразы, самец стимулирует использование самкой определенного варианта А-фразы. Время от времени в течение дуэтного пения могут происходить смены используемых вариантов одной из особей — это немедленно ведет к смене варианта у партнера. Таким образом, ведущая роль в формировании структуры дуэта (какие именно варианты фраз будут использоваться) принадлежит самцу. Однако самка может избирательно отвечать на те или иные I-фразы, игнорируя те, что по той или иной причине ей не понравились. В этом случае призывная, начальная I-фраза самца не находит своего отклика у прекрасного пола.

© Опаев А.С.,
Москва

Морская геология

Южно-Китайское море — молодой океанический бассейн

Интерес геофизиков вызывают строение и геологическая история дна и окраин Южно-Китайского моря, образовавшегося в кайнозойскую эру в ходе спрединга (растяжения дна). Оно является редкий пример системы окраинных рифтов, существующих в наше время.

Для этого региона уже имеются относительно полные геофизические данные. Но чтобы установить, насколько протекающие здесь процессы характерны для всего Мирового океана, выяснить реальную роль природных тектонических сдвигов земной коры в образовании континентальных окраин, требовались новые наблюдения. Особого внимания заслуживают северная и южная окраины Южно-Китайского моря, которые сейчас находятся на раз-

ных этапах эволюции, поскольку в прошлом зависели от разных тектонических обстоятельств.

Высказывались предположения, что подвергавшиеся рифтообразованию окраины настолько молоды, что все еще можно наблюдать термические сигналы (повышение теплового потока), существование которых предполагается рядом моделей возникновения рифтов. Для выяснения этих вопросов была организована американо-китайская экспедиция, проводимая уже в течение ряда лет на борту научно-исследовательских судов «Tanbao» (Управление морской геологии провинции Гуанчжоу, КНР) и «Maurice Ewing» (Обсерватория по изучению Земли им. Ламонта и Доэрти при Колумбийском университете).

Установлено, что в различных районах Южно-Китайского моря процессы образования шельфовых и глубинных бассейнов шли совершенно по-разному. Первоначально экспедиция выполнила три разреза вдоль северной окраины моря с применением сейсмического зондирования. О вариациях в строении коры свидетельствуют: монотонное уменьшение ее мощности по мере продвижения в сторону океана; концентрация следов растяжения в зонах, где кора отличается слабостью (очевидно, это поверхности срывов и сбросов); отчетливое локальное уменьшение мощности коры непосредственно под рифтовыми бассейнами; обширные следы вулканической активности, сопровождающей образование рифтов; различие в физических свойствах слоев коры (верхние и средние ее части значительно более хрупкие, нижние более вязкие).

В 2004-м и последующих годах намечено выполнить три новых разреза, на этот раз — в районе южной окраины моря, и затем сопоставить данные о распределении напряженности в литосфере этих регионов, о составе пород, их возрастных и других характеристиках, времени магматической активности, а также о вариациях подъема и погружения коры в пределах всей этой системы рифтов.

Руководят проектом Боучу Яо (Bochu Yao; Управление морской геологии провинции Гуанчжоу) и геофизик Д.Э.Хейс (D.E. Hayes; Обсерватория Ламонта и Доэрти по изучению Земли при Колумбийском университете).

InterMargins Newsletter. 2003. №3. P.7 (Великобритания).

Океанология

Волны жизни океанского планктона

Волны в океане никого не удивляют, но этого никак не скажешь о волне, которую недавно обнаружили в Индийском океане британские исследователи Дж.Дж.Бак, Г.Д.Квартли, М.А.Срокоч (J.J. Buck, G.D. Quartly, M.A. Srokosz; Саутхемптонский океанографический центр). Это волна размножения планктона.

Впервые планктонная волна была зарегистрирована в начале 1999 г. спутниковыми спектральными анализаторами, которые измеряют содержание хлорофилла в морской воде; подобные волны четко прослеживаются в данных 2000-го и 2002 гг. За три месяца — от зарождения до затухания — они проходят расстояние около 2500 км.

Эти волны жизни движутся с запада на восток, т.е. в направлении, противоположном направлению среднего течения приповерхностных вод, распространения крупномасштабных океанских волн (волн Россби) и перемещения вихревых образований. Поэтому пик цветения планктона не обусловлен переносом этих микроскопических водорослей водными массами. Авторы исследования считают, что такая волна может порождаться системой реакция—диффузия (подобно нелинейным волнам, наблюдаемым при циклических химических реакциях, вроде реакции Белоусова—Жаботинского). «Реакцией» служит размножение планктона, а «диффузией» — размывание его скоплений турбулентными вихрями. Математическим моделированием получена грубая оценка ско-

рости распространения этого автоволнового процесса — около 10 км/сут, что совпадает с данными наблюдений.

Geophysical. Research Letters. 2004. V.31. L13301 (США).

Океанология. Техника

Фонтан пресной воды на морском дне

Французская компания «Nymphaea Water» впервые извлекла пресную воду из источника, расположенного на дне Средиземного моря. Он называется Мортола и лежит в 400 м от г. Ментоны, на глубине 36 м, его дебит ≈ 100 л/с. Подобные источники известны еще с античных времен, на сегодня их открыто более 1000.

Система каптажа (отвода воды) состоит из накрывающего источник металлического «тюльпана» и соединенной с ним гибкой трубой емкости диаметром 6 м, которая плавает на поверхности моря (в дальнейшем компания намеревается проложить водовод на берег). «Тюльпан» поставлен на прочные якоря и удерживается от сноса растяжными тросами. Он имеет форму перевернутой воронки высотой 10 м и диаметром 2 м, на вершине которой находится сфера из плексигласа, регулирующая дебит воды. Конструкция не требует затрат энергии — она лишь собирает воду там, где та изливается естественным путем. Самым трудным при ее проектировании было подобрать оптимальный диаметр трубы, чтобы не допустить, с одной стороны, подсоса соленой морской воды, а с другой — «удушения» источника.

Получаемая вода в четыре раза дешевле опресненной морской. В среднем она содержит 1 г соли на литр (для сравнения: концентрация соли в средиземноморской воде 38 г/л). Источник Мортола можно использовать для орошения, но применять воду из него для питья и приготовления пищи допустимо только после дополнительной обработки.

Предложенная каптажная система (затраты на ее создание со-

ставили 2 млн евро) при серийном изготовлении может помочь решению проблемы дефицита пресной воды (его испытывает 40% населения планеты). Сейчас компания ведет изыскательские работы в средиземноморских и ближневосточных странах. В прибрежных водах Сирии уже найден источник с дебитом 500 млн м³/год.

Science et Vie. 2003. №1032. P.30 (Франция).

Гидрология

Водные запасы на Земле к середине XXI века

С.Манабе (S.Manabe; Научная программа по атмосфере и океану, США) и Р.Везеролд (R.Veserold; Лаборатория геофизической гидродинамики, Национальное управление США по изучению океана и атмосферы) изучали, как может измениться глобальный гидрологический цикл к середине XXI в. в связи с суммарным увеличением парниковых газов и сульфатных аэрозолей. Используя модель оке-

ан—земля—атмосфера, авторы особое внимание уделили изменениям расходов воды в реках и влажности почвы.

Результаты исследования показали, что запасы воды увеличатся в тех регионах мира, которые уже ею богаты. Однако ее нехватка значительно усилится в тех областях и в сезоны, которые и сейчас отличаются относительной засушливостью. Это, по мнению авторов, может поднять важную проблему управления водными ресурсами во всем мире.

В реках намечается общее увеличение расходов воды. Для арктических рек, таких как Маккензи и Обь, этот рост составит наибольшую долю. В тропиках значительно увеличатся расходы воды рек Амазонка и Ганг/Брахмапутра. Однако изменения стока (в %) у многих других рек в тропиках и средних широтах имеют меньшую величину и разный знак — как положительный, так и отрицательный (см. табл.).

Влажность почвы будет уменьшаться в течение большей части

Среднегодовой расход воды ($10^3 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$) основных рек мира по модельным данным

	Доиндустриальный период	Середина XXI в.	Изменение, %
Высокие широты			
Юкон	12.0	14.5	+20.5%
Маккензи	9.0	10.8	+20.8%
Енисей	15.6	17.7	+13.4%
Лена	16.7	18.7	+12.3%
Обь	7.7	9.3	+20.6%
Средние широты			
Рейн/Эльба/Сена	5.2	6.5	+24.5%
Волга	6.1	7.7	+25.1%
Дунай/Днепр	7.5	9.1	+20.7%
Колумбия	9.2	11.1	+21.1%
Св. Лаврентия/Сагунай	15.2	16.1	+6.2%
Миссисипи	11.6	11.7	+0.1%
Амур	9.2	9.1	-0.8%
Хуанхэ	16.7	16.8	+0.1%
Чанг Жианг	59.2	61.4	+3.7%
Замбези	31.1	30.9	-0.7%
Парана/Уругвай	23.5	29.0	+23.6%
Низкие широты			
Амазонка	308.0	343.0	+11.3%
Ориноко	34.3	36.8	+7.5%
Ганг/Брахмапутра	60.7	71.3	+17.5%
Конго	146.0	149.0	+1.8%
Нил	58.3	61.3	+5.1%
Меконг	42.2	39.6	-6.2%

года во многих полусухих регионах мира (юго-запад Северной Америки, северо-восток Китая, Средиземноморское побережье Европы, пастбища Австралии и Африки). В процентном отношении снижение влажности особенно велико в сухой сезон. Высыхание почв в полусухих регионах приведет к некоторому расширению пустынь. В высоких и средних широтах влажность почвы уменьшится летом, но зимой увеличится на обширных площадях Евразийского и Северо-Американского континентов.

Если выбросы CO₂ будут продолжаться на современном уровне, то в течение следующих нескольких столетий его концентрация может превзойти доиндустриальный уровень более чем в четыре раза, прежде чем начнет очень медленно снижаться.

К числу критических факторов, определяющих запасы воды на поверхности континентов, относится изменение атмосферных осадков. Согласно моделям, осадки значительно увеличиваются над территорией Сибири и Канады и уменьшаются над юго-западной территорией Северной Америки, Средиземным морем, большей частью Австралии и над Южной Африкой.

Всемирная конференция по изменению климата. Тезисы докладов. М., 2003. С.14–15 (Россия).

Сейсмология

Грандиозное землетрясение 2002 года

Самый мощный на Земле подземный толчок за 2002 г. произошел 2 ноября на Аляске. Его магнитуда достигала 7.9 по шкале Рихтера; весь огромный штат — от приполярного Фэрбенкса до приморского Анкориджа — содрогался в течение 2 мин. По количеству выделившейся энергии это событие превзошло даже известнейшее Сан-Францисское землетрясение 1906 г., правда, к человеческим жертвам оно не привело, но лишь из-за малой плотности населения штата и благодаря тому, что эпи-

центр приходился на совсем уж безлюдную местность в Аляскинском хребте.

Научные данные, описывающие эту катастрофу, были проанализированы коллективом специалистов во главе с Дж.Фраймюллером (J.Freytmüller; Геофизический институт при Университете штата Аляска в Фэрбенксе).

Землетрясение получило наименование Деналиского — по названию проходящего рядом с эпицентром сброса Денали¹. Выяснено, что при разрыве земной коры произошло опускание одного из ее участков. Точное местонахождение эпицентра и магнитуда толчка были установлены благодаря тому, что в Аляскинский центр сейсмологической информации поступили данные более чем от 370 сейсмостанций мира. На месте были изучены многочисленные сдвиги на близлежащем шоссе, глубокие трещины в почве и другие свидетельства события. Большой интерес вызывало состояние Трансалайскинского нефтепровода, соединяющего его установки на побережье Северного Ледовитого океана и портовые сооружения на южном морском берегу штата, более чем в 1 тыс. км: несмотря на силу толчка, сколь угодно серьезного разрушения нефтепровода не произошло (строители учли в свое время рекомендации геофизиков).

По данным от спутника GPS (Global Positioning System) определены направление и характер движения огромного участка земной коры. Область сброса Денали, как показали измерения из космоса, в районе, где он пересекает шоссе, ведущее на Ричардсон, смещается ежегодно на 7 мм, а там, где соприкасается с автострадой на Паркс, — даже на 11 мм в год (это весьма значительная величина). По заключению Х.Флетчера (H.Fletcher; Геофизический центр в Фэрбенксе), землетрясение местами сдвинуло верхние слои почвы на 8 м; по-видимому, напряжение в земной коре накапливалось здесь примерно 1 тыс. лет.

¹ См. также: Странная гора Мак-Кинли // Природа. 2002. №7. С.88.

26 новых сейсмостанций, установленные вокруг сброса Денали вслед за событием, вместе со старыми записали в течение месяца более 8 тыс. афтершоков. Сотрудники Сейсмологического информационного центра после просмотра сейсмозаписей волн, которые были вызваны Ненанским (Центральная Аляска) землетрясением, случившимся 23 октября того же года ($M = 6.7$), определили его как форшок (предваряющий толчок) Деналиского землетрясения (в момент ненанского события они находились в 30 км от его эпицентра и были остановлены мощными толчками, подбрасывавшими их машину и в течение 5 мин раскачивавшими большие деревья).

Значительная часть сброса Денали пересекает срединную область Аляскинского хребта. Здесь сброс местами оказался заполнен массами вечных льдов. Эту область сразу после землетрясения обследовали гляциологи М.Траффер (M.Traffer; Геофизический институт) и Д.Трабант (D.Trabant; Геологическая служба США) с коллегами. Они установили, что ледник Блэк-Рэпидс испещрен свежими глубокими «ранами», а в верхней части ледник покрыт слоем камней, лавина которых явно была вызвана подземными толчками. Площадь камнепада занимает около 13 км². Молодой каменный покров полностью закрыл поверхность льда от воздействия солнца и атмосферы. Ранее ледниковый баланс был здесь отрицательным: толщина стаивавшего за лето льда превышала зимний снеговой слой примерно на 4 м/год. Теперь таяние значительно сократится до тех пор, пока новый каменный покров не будет снесен в долину, на что уйдут столетия. В верхней части ледника Гакона снего-каменная лавина обрушила существовавшие там величественные ледяные башни. (К счастью, случилось это в ноябре, а не в марте, когда местность заполняют горнолыжники и альпинисты.)

Все эти события привели к неожиданным последствиям в области вулканологии. С одной сторо-

ны, на протяжении 5 мес после землетрясения Денали отмечалось значительное снижение сейсмической активности вокруг вулкана Врангель (крайний юг штата Аляска), что резко контрастировало с его реакцией на мощнейшее Аляскинское землетрясение 1964 г. ($M=9.2$ по шкале Рихтера) — выделившаяся тогда тепловая энергия растопила за последовавшие 12 лет не менее 40 млн m^3 скопившегося в кратере льда. Теперь ничего подобного не случилось. С другой стороны, деналийские толчки каким-то образом активизировали сейсмическую и гидротермальную деятельность в весьма далеких от Аляски вулканических областях — в Йеллоустоне, известном своими гейзерами и горячими ручьями, в кальдере Лонг-Валли (штат Калифорния), в Каскадных горах штата Вашингтон (гейзеры Маммот, Косо и Рейнир) и ряде других неспокойных в геофизическом смысле континентальных районов США. Но этими эффектами дело не ограничилось. Мощная энергия, выделившаяся при землетрясении, вызвала в твердом теле Земли поверхностные волны, которые, продвигаясь, в частности на юго-восток, достигли штата Луизиана во многих тысячах километров от источника. Следствием стали необычайно сильные морские волны.

Сейсмологи, вулканологи и представители иных геофизических дисциплин продолжают изучать различные аспекты этого грандиозного события.

Geophysical Institute Quarterly. 2003. V.18. №20. P.1 (США).

Сейсмология

Землетрясение в Калининграде — неожиданность?

Серия землетрясений в Калининграде и области застала врасплох не только жителей и административные органы, но даже сотрудников МЧС. Все в один голос говорят, что такого здесь раньше не бывало. Местные жители были напуганы сначала самим сотрясе-

нием, а затем и предупреждениями МЧС о возможности повторения толчков. Многие провели ночь на улице, боясь возвращаться в дома.

Что же случилось?

Сеть сейсмических станций Европы зарегистрировала 21 сентября три толчка — в 11 ч 05 мин, 13 ч 32 мин и 13 ч 36 мин (по Гринвичу). Самым сильным был второй толчок, хотя и первый из-за полной неожиданности и неподготовленности жителей к подобным явлениям вызвал смятение. Через 25 мин после толчка сигнал поступил на пульт оперативного дежурного МЧС, а спустя час на улицы Калининграда выехали машины с громкоговорителями, призывая жителей сохранять спокойствие и не заходить в дома. Поверхностный эффект первого толчка составил 5—6, а второго 6 баллов по 12-балльной макросейсмической шкале. Магнитуда, т.е. показатель выделенной в очаге сейсмической энергии, составляла 4—5; третий толчок (афтершок) оказался значительно слабее, хотя и он чувствовался в Калининграде и окрестностях. Благодаря заглубленности очага (оценивается в 10—15 км) сотрясения охватили не только территорию Калининградской обл. и северо-восточную часть Польши, но ощущались также в прибалтийских государствах, Белоруссии и даже в Финляндии. Надо признать, что за время инструментальных наблюдений (примерно за 100 лет) это наиболее значительное сейсмическое событие в районе Балтики. Его можно сопоставить только с Осмуссаарским землетрясением 25 октября 1976 г. у берегов Эстонии, интенсивность которого достигала 7 баллов в эпицентре (море) и 6 баллов на прилегающем побережье.

По инструментальным данным, эпицентры всех трех толчков располагались довольно кучно в 20 км к северо-западу от Калининграда и ближе к нему. В городе сотрясения ощущали все жители, особенно в домах старой постройки, а в новостройках — на

верхних этажах. Качались стены, опрокидывалась мебель, падали предметы, в некоторых домах осыпалась штукатурка, появились трещины, повреждения дымоходов; были случаи, когда люди в панике выпрыгивали из окон. В городах Светлогорск и Пионерский, что в 30 км севернее Калининграда на побережье, сотрясения составили около 5—6 баллов, тем не менее именно здесь произошло смещение грунта и железнодорожного полотна — на несколько дней прервалось железнодорожное сообщение.

Предварительно можно считать, что эпицентральные зоны толчков вытянуты вдоль берегов Самбийского п-ова в соответствии с направлением основных разломов (то же самое имело место и при Осмуссаарском землетрясении 1976 г.). До специальных исследований связать очаг землетрясения с какой-либо конкретной геологической структурой затруднительно. Но нельзя не заметить, что, в отличие от многих других участков побережья Южной Балтики, как раз между Светлогорском и Балтийском давно уже обнаружены крупные дислокации палеогеновых и неогеновых отложений с амплитудой до нескольких десятков метров. Более того, в деформации вовлечены отложения микучинского межледниковья (130—110 тыс. лет) и даже позднеледниковья (около 15 тыс. лет назад). Зная это, не приходится удивляться сейсмическим проявлениям в районе.

А действительно ли раньше здесь землетрясений не происходило? В Калининградской области — да. А вот в Восточной Пруссии и Кёнигсберге — бывали. Просто в людской памяти давние события слабо запечатлеваются. Конечно, землетрясения в Южной Балтике, да и в Балтике вообще, — явление довольно редкое. В учебниках и даже специальных руководствах о них ничего не найдешь. На официальной карте сейсмического районирования России ОСР-97 Калининградская обл., как и вообще большая часть Северо-Запада, показаны как области

практически безопасные в сейсмическом отношении; в них допускаются сотрясения интенсивностью не выше 5 баллов, да и то не чаще чем раз в тысячи лет. Между тем юг и юго-восток Балтики совсем не столь сейсмически спокойны, как представляется. В прошлом землетрясения бывали на балтийских побережьях Германии и Польши, в Дании, близ о.Борн-хольм. Самое сильное (до 7—8 баллов) разразилось ровно 100 лет назад в Норвегии и Южной Швеции. На юго-востоке Балтики только за последние 150 лет можно отметить Западно-Эстонское землетрясение 1877 г. (5 баллов), Нарвское 1881 г. (6 баллов), Рижское 1910 г. (5 баллов), Ладоское 1921 г. (6 баллов), Таллинское 1931 г. (5 баллов), Осмуссаарское 1976 г. (7 баллов). И вот теперь — Калининградское. По существу, охвачен весь пояс по южному обрамлению Фенноскандии. И если каждое новое землетрясение в этой области удивляет, то потому лишь, что у людей другой масштаб измерения времени, чем у природы. А просвещение, в том числе и научное, заглохло.

Бывали, например в первой половине XIX в., землетрясения и на территории нынешней Калининградской обл. Еще средневековый хронист, вошедший в историю под именем Петра из Дуйсбурга (XV в.), писал о «страшном дрожании» земли, так что старые дома грозили рухнуть в Мемельбурге (ныне Клайпеда). Произошло это в 1328 г. А еще раньше, в 1302 г., по его же сообщению, «явилось чудо в Прусской земле», а точнее в Куршском заливе. Когда войско немецкого ордена переходило осенью по тонкому льду, вдруг лед стал подниматься и опускаться, «как вода при шторме», и люди «то поднимались на лед словно на гору, то опускались словно в пропасть». «Было землетрясение по всей земле Прусской, — отмечал хронист, — трижды поднималась земля с домами». Неизвестно, были ли при нынешнем землетрясении какие-либо возмущения на море, но интересно, что и в этот раз оно состояло из трех разделенных во

времени сотрясений и, по-видимому, несколько большей силы.

Теперь не только специалистам должно быть ясно, что в Южной Балтике возможны толчки как 5—6-балльные, так изредка и более сильные, до 7—8 баллов. Проектировщикам, строителям и административным работникам придется побеспокоиться. Есть здесь чем заняться и сейсмологам.

Кто знает, где и когда Балтийский регион снова встрепенется.

© **Никонов А.А.**,
доктор геолого-
минералогических наук
Москва

Климатология

Изменения климата на северо-западе Японского моря

Для оценки возможных последствий изменений климата и их воздействия на окружающую среду и экономику несомненный интерес представляют исследования динамики климата по отдельным регионам. Л.А.Гайко (Тихоокеанский океанологический институт Дальневосточного отделения РАН) изучает изменчивость температурного режима прибрежных районов залива Петра Великого (северо-западная часть Японского моря) по данным четырех береговых гидрометеорологических станций (ГМС) Госкомгидромета за период с 1881 г.

Год от года и температура воды, и температура воздуха изменяются почти синхронно, однако в юго-восточной части залива (ГМС Находка) такая взаимосвязь очень низка, что, по всей видимости, связано с воздействием При-

морского течения и ветрового апвеллинга у северо-западного побережья Японского моря.

На всех станциях за последние 70 лет прослеживается тенденция к увеличению среднегодовой температуры воздуха: выявлен значимый на 1%-ном уровне тренд. Для воды тенденция изменчивости температуры неоднозначна: в юго-западной части залива (ГМС Гамов и Посьет) она не выражена, в юго-восточной (ГМС Находка) отрицательна, а в центре залива (ГМС Владивосток) положительна и значима на 5%-ном уровне. Установлено, что 1982 г. стал переломным: на всех без исключения станциях с 1983 г. наблюдается резкий (на 5%) подъем температуры воды и воздуха (пришедшийся на эти же годы один из максимумов Эль-Ниньо подтверждает такие крупные атмосферные перестройки).

Для уточнения климатических особенностей в регионе проводилась оценка трендов по полугодиям, а в заливе Посьета — для каждого месяца. С декабря по май линейный сдвиг температуры воды и воздуха положителен (1%); с июня по ноябрь тренд не выявлен.

Различия в режиме вод юго-западной и юго-восточной части залива Петра Великого, по мнению автора, можно объяснить значительным влиянием адвективных факторов (морских течений и апвеллинга). В температурных характеристиках воздушных масс такого различия между этими частями залива не отмечается.

В целом зимы и весны стали теплее, а летом и осенью температуры варьируют в пределах нормы.

Всемирная конференция по изменению климата. Тезисы докладов. М., 2003. С.394—395 (Россия).

Динамика температуры на станциях залива Петра Великого

Температура воды (°C)		Температура воздуха (°C)	
Посьет	+0.25°C/50 лет	Посьет	+0.95°C/50 лет
Гамов	+0.15°C/50 лет	Гамов	+0.73°C/50 лет; +0.78°C/75 лет
Находка	−0.27°C/50 лет	Находка	+1.82°C/50 лет
Владивосток	+0.94°C/50 лет; +0.64°C/100 лет	Владивосток	+1.96°C/50 лет; +1.74°C/100 лет

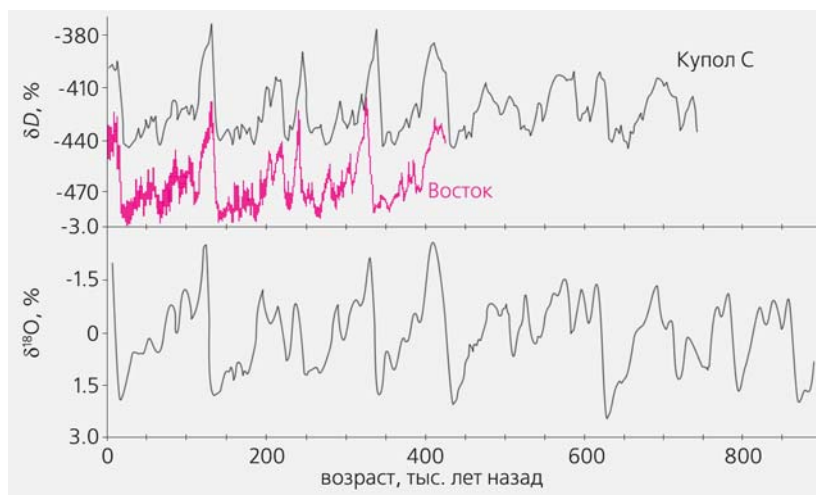
Палеоклиматология

Климат Земли за 740 тысяч лет

Ледники Антарктиды и Гренландии постоянно нарастают сверху за счет атмосферных осадков. При этом захватываются и на долгий срок сохраняются во льду пузырьки воздуха, свидетельствующие о состоянии атмосферы тысячи и даже сотни тысяч лет назад. А по соотношению во льду дейтерия (тяжелого изотопа водорода ^2H) и обычного водорода можно судить о температуре воздуха в период образования льда, поскольку при конденсации паров воды более тяжелые (содержащие дейтерий) молекулы требуют меньшего охлаждения.

До недавнего времени рекордная по длине (3623 м) и продолжительности формирования (420 тыс. лет) колонка льда была получена в 1989–1998 гг. на российской станции Восток в Центральной Антарктиде. Анализ запечатанных во льду пузырьков воздуха позволил группе ученых из разных стран¹ детально проследить динамику содержания в атмосфере важнейших парниковых газов — диоксида углерода и метана, а по относительной доле дейтерия в самом льду — динамику изменения температуры. Как выяснилось, эти показатели меняются синхронно, совершая колебания в соответствии с циклами Миланковича. Напомним: сербский астроном М.Миланкович еще в 20–30-е годы минувшего века предположил, что колебания наклона оси вращения Земли (с периодом около 40 тыс. лет), взаимодействуя с регулярными (с периодом в 100 тыс. лет) изменениями формы земной орбиты (то более вытянутой, то круговой), должны сказываться на распределении инсоляции по поверхности земного шара, приводя в конце концов к чередованию ледниковых и межледниковых периодов. Анализ керна со станции Восток показал, что решающими для оп-

¹ Petit et al. // Nature. 1999. V.399. P.429–436.



Вверху — динамика относительного содержания дейтерия δD во льду Антарктиды: нижняя кривая — по данным керна со станции Восток, верхняя — по данным EPICA — керн с Купола С (пики соответствуют потеплениям). Внизу — динамика относительного содержания изотопа кислорода ^{18}O в морских донных осадках.

ределения земного климата в последние 420 тыс. лет были изменения формы орбиты, т.е. циклы по 100 тыс. лет. Для этого промежутка времени отмечены четыре довольно продолжительных ледниковых периода, разделенных сравнительно короткими периодами существенного потепления.

К сожалению, дальнейшее бурение льда на станции Восток пришлось приостановить — под скважиной в толще льда обнаружили озеро. Однако в других местах Антарктиды работы по глубинному бурению продолжались. В частности, колонка льда, охватывающая рекордный на сегодняшний день период времени — 740 тыс. лет, была поднята на Куполе С в Восточной Антарктике, примерно в 500 км от станции Восток. Первые результаты этих работ, которые ведутся в рамках проекта EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica), недавно опубликованы² группой из 56 авторов, представляющих европейские страны (в том числе Россию). Особенно интересны данные по

² Augustin L. et al. // Nature. 2004. V.429. P.623–628; См. также: Таланай П.Г. Очередной шаг к исследованию древнего льда Антарктиды // Природа. 2004. №8. С.84–85.

относительному содержанию дейтерия, позволяющие сделать важные заключения об изменениях температуры за 740 тыс. лет.

Во-первых, выяснилось, что цифры, полученные на Куполе С для последних 420 тыс. лет, очень близки к уже известным по керну со станции Восток. Таким образом, независимо подтверждена прежняя реконструкция динамики климата во времени.

Во-вторых, изменения в содержании дейтерия за все 740 тыс. лет теснейшим образом коррелируют с динамикой другого, независимо полученного, показателя палеотемпературы, а именно — долей изотопа кислорода ^{18}O относительно обычного ^{16}O . Оба изотопа включаются в карбонат кальция CaCO_3 в том соотношении, в котором они находятся в окружающей морской воде (из CaCO_3 образованы раковины фораминифер, повсеместно распространенные и попадающие в донные отложения). В свою очередь, соотношение $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в воде связано с общей климатической ситуацией, поскольку при испарении с поверхности океана, последующей конденсации влаги в атмосфере и выпадении с дождем и снегом молекулы, содержащие тяжелый изо-

топ ^{18}O , возвращаются быстрее, чем содержащие ^{16}O (последние в значительно большем количестве уносятся на континенты и задерживаются там особенно долго, если попадают на ледники). Чем холоднее климат и больше масса ледников, тем сильнее обогащаются океанские воды тяжелым изотопом ^{18}O .

В-третьих, для периода, охваченного керном с Купола С, отмечена смена типа динамики температуры, подтвержденная данными по содержанию ^{18}O в донных осадках. А именно: если за последние 430 тыс. лет основными были циклы по 100 тыс. лет, причем короткие межледниковые периоды сменялись длительными ледниковыми, то для предшествующих 300 тыс. лет характерны колебания с периодичностью в 40 тыс. лет, причем межледниковья были менее теплыми, но на каждое из них приходилась большая часть цикла (в отличие от последних 420 тыс. лет), а общая амплитуда была меньше. Любопытно, что ситуация, складывавшаяся 430 тыс. лет назад, при окончании ледникового периода и начале межледникового, по амплитуде температурных изменений и содержанию парниковых газов напоминает наблюдаемую в настоящее время. Правда, потепление протекает быстрее, и преобразования, которые раньше потребовали 28 тыс. лет, сейчас заняли всего 12 тыс.

© Гиляров А.М.,

доктор биологических наук
Москва

Палеоклиматология

Арктика и Антарктика тептели несинхронно

О климатических связях, существовавших в отдаленные времена между Северным и Южным полушариями, обычно судят, сопоставляя колонки льда из Гренландии и Антарктиды. Французский геохимик Н.Кайон (N.Caillon) и его

коллеги предложили иную методику. Она предполагает исследование ледовых кернов, взятых только в Антарктике: сопоставлять в данном случае следует данные изотопного анализа аргона и азота¹ и содержание метана. Первый показатель свидетельствует о колебаниях температуры на месте бурения. По концентрации же атмосферного метана (она возрастает, когда увеличивается площадь болот и увлажненных территорий) можно судить о температуре в Северном полушарии, где преобладает суша.

Ученые исследовали ледяные керны возрастом около 108 тыс. лет, взятые на южнополярной российской станции Восток. Анализ показал, что происходившее в ту эпоху потепление началось в Южном полушарии, а в Северное пришло лишь примерно 2 тыс. лет спустя. Это еще один аргумент в пользу гипотезы, согласно которой климат в полушариях изменяется несинхронно.

Geophysical Research Letters. 2003. V.30. №17. P.1899 (США); Science. 2003. V.302. №5642. P.19 (США).

Палеонтология

Бабочка в янтаре

Именно в янтаре — окаменевшей смоле ископаемых деревьев — наилучшим образом сохраняются насекомые: не в виде плоского отпечатка, как почти во всех других породах, а в объеме, притом не теряя обычно даже мельчайших щетинок. По таким остаткам описаны сотни видов насекомых, но до недавнего времени среди них не было ни одной бабочки².

Первой такой бабочкой стала *Voltinia dramba* из семейства

Riodinidae, жившая около 20 млн лет назад на Антильских о-вах³. Образцы янтара, содержащие пять прекрасно сохранившихся взрослых бабочек этого вида, были найдены на о.Гаити (территория Доминиканской Республики).

Семейство Riodinidae объединяет бабочек небольшого размера, близких родственников наших голубянок (Lycaenidae). Древнейшая из сохранившихся до наших дней групп дневных бабочек — толстоголовки (семейство Hesperiiidae) — появилась, по-видимому, почти 70 млн лет назад. Напротив, риодиниды и голубянки — сравнительно молодая группа, образовавшаяся немногим более 50 млн лет назад. Большинство современных видов риодинид обитают в Южной Америке. На островах Карибского моря ранее был отмечен только один вид из этого семейства, но он не может быть потомком *Voltinia dramba*; ближайший к ней современный вид — *Voltinia danforthi* — живет в Мексике.

Гусеницы представителей рода *Voltinia* питаются листьями эпифитных растений (бромелиевых и орхидных), растущих на стволах деревьев. И бромелиевые, и орхидные возникли более 60 млн лет назад, поэтому вполне вероятно, что рацион у гусениц ископаемой бабочки был таким же, как у ее современных родственниц. Янтарь, в котором заключены древние бабочки, — это смола дерева из семейства бобовых, на стволах которого могли расти кормовые объекты гусениц.

Все пять обнаруженных в янтаре бабочек — самки, и авторы, описавшие ископаемый вид, предполагают, что они прилипли к смоле и утонули в ней, когда откладывали яйца или искали подходящее для этого место.

© Петров П.Н.,

кандидат биологических наук
Москва

¹ Резкое потепление в конце ледникового периода // Природа. 2000. №11. С.66; Климат на юге и севере изменялся в противофазе // Природа. 2001. №10. С.84—85.

² Vane-Wright D. // Nature. 2004. V.428. P.477—480.

³ Hall J.P.W. et al. // Proc. R. Soc. Lond. B. 2004. V.271. P.797—801.

История одной забытой экспедиции

С.В.Сахарнов

Санкт-Петербург

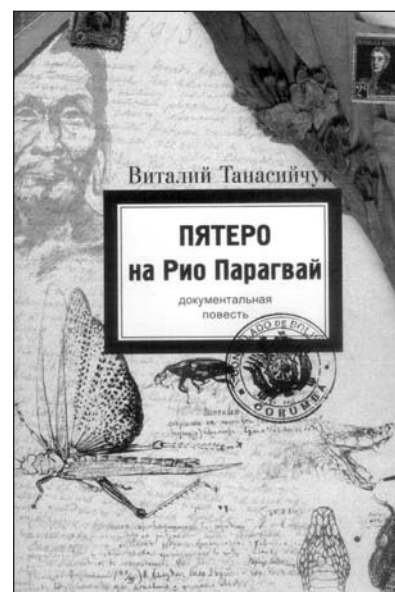
Документальная повесть «Пятеро на Рио Парагвай» посвящена Второй российской экспедиции в Южную Америку (1914—1915)*. Написана она В.Н.Танасийчуком — доктором биологических наук, ведущим научным сотрудником Зоологического института РАН, сыном участника экспедиции, зоолога Н.П.Танасийчука. С детских лет Виталий Николаевич участвовал в экспедициях родителей по дельте Волги и Северному Каспию и свою жизнь тоже связал с зоологией, став энтомологом, специалистом по систематике двукрылых насекомых. Помимо многочисленных научных работ, он написал более сотни научно-популярных, в том числе 13 книг о природе и о мире насекомых. Проиллюстрированы они фотографиями автора, профессионально владевшего методикой энтомологической фотосъемки. Новая книга, о путешествии отца и его спутников в Южную Америку, написана так, будто автор сам участвовал в экспедиции и видел все, о чем пишет. Основой для книги послужили документы, хранящиеся в архивах Российской академии наук и Санкт-Петербургского отделения Ин-

ститута антропологии и этнографии им.Петра Великого, чудом уцелевшие дневниковые записи и письма участников экспедиции, а также воспоминания их родственников. За прошедшие 90 лет вышло немало научных и научно-популярных публикаций об этом путешествии**, однако развернутого очерка обо всей экспедиции сделано не было. Документальная повесть восполняет этот пробел.

Итак, представим начало 1914 г. О грядущей первой мировой войне, до которой оставалось всего лишь несколько месяцев, еще никто не подозревал. Пятеро молодых людей, членов кружка при биологической лаборатории им.П.Ф.Лесгафта*** (двое этнографов — студенты Московского университета Ген-

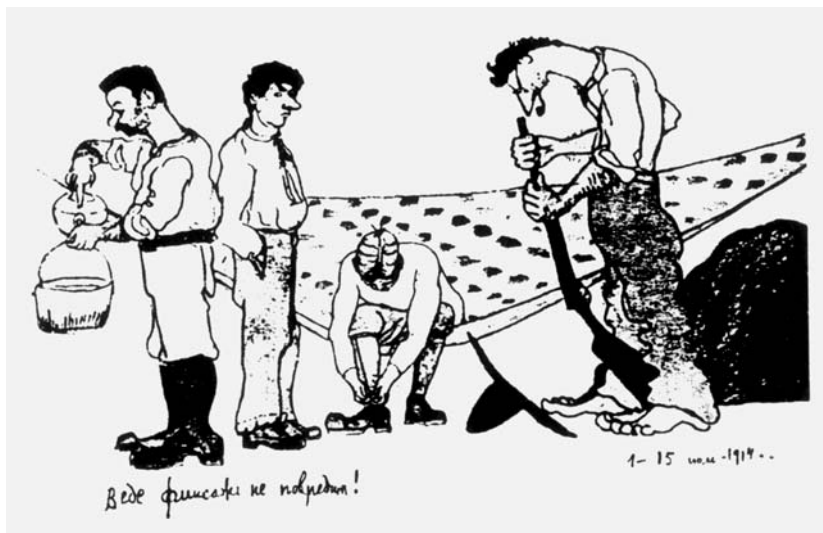
** Полный список литературы, посвященной Второй российской экспедиции в Южную Америку, опубликован в «Трудах государственного музея истории Санкт-Петербурга» (2001. Вып.6. С.140—142), где значится и журнал «Природа»: Манизер Г.Г. Из путешествия по Южной Америке в 1914—1915 гг. (1917. №5—6. С.621—659); Комиссаров Б.Н., Лукин Б.В. Русские ученые в Южной Америке (1965. №1. С.105—107).

*** Лесгафт Петр Францевич (1837—1909) — врач, анатом и педагог, создавший в Петербурге Биологическую лабораторию — по сути, научно-исследовательский институт и образовательное учреждение, где издавались собственные труды, существовал музей сравнительной анатомии и зоологии, библиотека, а по вечерам собирався кружок молодых биологов (студентов, преподавателей и их друзей — этнографов, филологов и т.д.), чтобы обсуждать проблемы биологии и философии.



В.Н.Танасийчук. ПЯТЕРО НА РИО ПАРАГВАЙ.

М.: Товарищество научных изданий КМК, 2003. 253 с.



Шарж Г.Г.Манизера. В гамаке сидит Фиельструп, Танасийчук занят своим ружьем, Гейман что-то наливает в котелок, а сам Манизер на все это мрачно поглядывает.

рих Генрихович Манизер и Федор Артурович Фиельструп, двое зоологов — ассистент лаборатории Иван Дмитриевич Стрельников и студент естественного отделения Николай Парфентьевич Танасийчук и, наконец, студент Психоневрологического института им.Бехтерева Сергей Вениаминович Гейман) решают ехать в малоисследованные по тем временам области Южной Америки. Самому старшему из них, Стрельникову, было всего 27 лет, а небольшой экспедиционный опыт был только у Фиельструпа, — год назад он успел побывать в Монголии вместе с американским антропологом А.Хрдличкой. Тем не менее намерения молодых людей были самые серьезные — сбор этнографических и зоологических коллекций для российских музеев. Как ни странно с сегодняшней точки зрения, научные учреждения эту студенческую авантюру поддержали и, что еще более важно, не прогадали.

Получив небольшие денежные пособия от музеев Академии наук, лаборатории Лесгафта, Московского университета и двух меценатов, добавив свои очень скромные сбережения и

заручившись рекомендательными письмами к крупнейшим аргентинским ученым, «экскурсанты», как они себя называли, выехали из Петербурга 21 апреля и добрались до Буэнос-Айреса 23 мая. В глубине Бразилии из случайных газет они узнали о начале войны и прекращении сообщения с Европой; рассчитанное на полгода путешествие затянулось на полтора.

Научные интересы молодых ученых были различны, поэтому им пришлось разделить. Они странствовали по Аргентине, Бразилии, Боливии, Парагваю, Чили. Условия работы порой были чудовищно тяжелы. Главной бедой было безденежье, главными опасностями — не змеи и ягуары, а существа более мелкие — клещи (после каждой экскурсии зоологи снимали с себя многие десятки их), песчаные блохи (внедряющиеся в кожу ног между пальцев) и личинки овода уру (*Dermatobia hominis*, что с латыни переводится как живущая в коже человека). Последняя личинка овода вышла из бедра Стрельникова, когда он уже вернулся в Петроград.

Тропические леса с их обилием жизни были раем для зоо-

логов. Каждый день они встречали тапиров, диких свиней, оленей, змей, обезьян и попугаев и, конечно, сонмище насекомых. Но добыть животное — только полдела, каждое из них нужно сохранить. До поздней ночи при свете костра зоологи снимали шкуры, натирали их солью и мышьяком, фиксировали в спирте рыб и ракообразных, раскладывали насекомых на ватные матрасики. Нередко приходилось буквально сражаться за спасение коллекций. Вот один из эпизодов: «Зоологи сидели в ранчо и попивали кофе, когда их поразил какой-то странный шелест и незнакомый, неприятный запах. Комнату быстро заполняли муравьи, они вливались струями через дверь, через щели, разбегались по стенам, падали с балок. Они кишели в коробках с коллекциями, открытых для просушки...

Костер еще горел, и в нем было много углей. Зачерпнув их ведром, Стрельников засыпал ими пол; Танасийчук тем временем раскидывал горящие ветки на пути колонны, окружая ранчо огненным кольцом. Так, чуть не устроив пожар, они держали оборону до одиннадцати часов ночи, пока муравьи не ушли. Согласно литературе, эцитоны поедает только ту добычу, которую убили сами; к сожалению, в этот раз они действовали не по науке, и часть коллекций была повреждена. После этого пришлось подвесить коробки и ящики под толком на смазанных вазелином шнурках и проволоках.

Во время баталии некогда было приглядываться к непрошеным гостям, но горсть муравьев все-таки сунули в морилку. Наутро, укладывая их на ватные матрасики, зоологи увидели — у этих муравьев нет глаз. Свои нашествия они совершают вслепую» (с.30).

Покушались на собранные кровью и потом коллекции и другие лесные разбойники. «Стоило хоть на минуту оставить на столе собранных насекомых, как самые крупные из

них таинственно исчезали. Когда пропала огромная, как птица, бабочка-тизания, Николай рас-свирипел и решил принять меры. Он приладил над столом сачок на длинном шнурке, положил под ним несколько крупных кузнечиков, лег в гамак и стал ждать. Через несколько минут что-то круглое и темное показалось из щели в стене, немного помедлило, явно высматривая, нет ли опасности, — и бросилось к добыче. Николай отпустил шнурок, и в сачке забился великолепный паук-птицеед — огромный, мохнатый, черный, с красными коленками и восемью глазами, злобно смотрящими во все стороны. В коллекции у зоологов уже было несколько птицеедов; полюбовавшись грабителем, Николай отпустил его и впредь, приходя с экскурсии, всегда клал около логова что-нибудь съедобное» (с.136).

Увлеченные сбором коллекций, зоологи порой забывали об опасностях. Впервые увидев заросли гигантской кувшинки — виктории амазонской (*Victoria amazonica*, или *V.regia*), «Стрельников бросился в воду и по грудь в ней пошел к ближайшему цветку. Оказавшийся поблизости кайман испуганно шарахнулся в сторону, а пираньи, по-видимому, были заняты другими делами. Стебель Виктории был покрыт массой длинных, очень острых шипов, и Митрич крепко исколот руки — но все-таки срезал цветок и вернулся, сияя. Вечером в письме он напишет: “все прекрасное колюче...”» (с.52).

Зоологи странствовали по Бразилии, Боливии и Парагваю всегда вместе. Променяв индейцам все, что возможно, вплоть до «лишней» одежды, нередко голодая, изнуренные лихорадкой, в августе 1915 г. они добрались до Буэнос-Айреса и отплыли в Россию через Ливерпуль и Архангельск, увозя 43 пуда (почти 700 кг) зоологических, этнографических и ботанических коллекций.

У этнографов были свои заботы: добраться до «настоя-

щих», не тронутых цивилизацией индейцев, войти в доверие, выменивать у них предметы быта и оружие, составлять словари, уговаривать стариков и старух рассказывать предания и сказки. Работали они в глубине Бразилии, но вскоре Гейман, оказавшийся прекрасным сборщиком материала, увез собранные коллекции в Буэнос-Айрес и продолжил путь самостоятельно. Манизер и Фиельструп продолжали работать вместе, неделю они провели в племени шавантов, или фая. «Вместе с ними они охотились и собирали мед, учились стрелять из луков, а Манизер даже пытался зажигать огонь с помощью палочек — но добывал только дым без огня. На привалах Фиельструп с помощью Жулианы составлял словарь языка шавантов, а Манизер зарисовывал сцены из их жизни и делал наброски лиц, покрытых раскраской. К бытовым зарисовкам индейцы отнеслись равнодушно, но первый же набросок раскрашенного лица они обсуждали с таким азартом, что Генрих Генрихович вспомнил споры критиков на петербургских художественных выставках. Недовольные какими-то деталями, индейцы даже пытались поправлять рисунок. Тогда Манизер сделал схематичный набросок человеческого лица и протянул карандаш старику, особенно шумно участвовавшему в дискуссии. Тот покачал головой, достал откуда-то кусочек минеральной краски “уруку” и начал ею покрывать набросок. Манизер нарисовал еще десяток лиц, индейцы схватили листки и стали самозабвенно дорисовывать. Новое занятие так захватило шавантов, что в этот день они больше никуда не пошли, а Манизер стал обладателем целой серии рисунков, изображающих раскраску мужчин, женщин и детей. Индейцы воспроизвели даже раскраску лиц умерших, которая делается для похорон.

И вот наступил последний вечер в лесу. Шумели на ветру

деревья, на них вспыхивали светляки — все сразу, как будто по команде дирижера; жалобно кричала вдали какая-то птица. Этнографы лежали в гамаках, глядя на сидящих у огня индейцев. Скулили щенята, ползали дети, женщина укачивала младенца — и снова возвращалось уже не раз испытанное чувство нереальности. Казалось, что все это происходит не с ними, Генрихом Манизером и Федором Фиельструпом, а с героями прочитанной в детстве приключенческой книги, что стоит только проснуться — и будет опять Петербург, бесконечный университетский коридор, февральская метель за окном...» (с.73).

В середине декабря Фиельструп из-за безденежья по жребии пришлось вернуться в Буэнос-Айрес. Аргентинские друзья отправили его в плавание на учебном фрегате вокруг всей Южной Америки в качестве представителя аргентинского и российского музеев этнографии. Он вернулся через восемь месяцев и увез в Россию 34 ящика коллекций, собранных всеми тремя этнографами.

Тем временем Манизер еще два месяца работал у индейцев, затем добрался до Рио-де-Жанейро, надеясь на то, что российский посланник поможет ему добраться до России.

И тут судьба неожиданно улыбнулась путешественнику. Посланник, восхищенный энтузиазмом молодого ученого и объемом проделанной им работы, не только помог ему деньгами, но и свел с уже знаменитым тогда исследователем Бразилии полковником Рондоном, основателем Службы охраны индейцев. Рондон предложил ему отправиться на один из постов Службы и исследовать племя ботокудов — «носящих ботоки», деревянные диски в ушах и губах. Почти полгода провел Манизер у этих индейцев, составив словарь их языка, изучив их мифологию, собрав коллекцию их утвари. Особым спросом у индейцев пользовались греб-



Рисунки Г.Г.Манизера.

ни, и Манизер был рад тому, что ему прислали их целую коробку для обмена. Когда же он составлял список всего, что ему нужно было выменять, «подошла и присела рядом старуха, с любопытством глядя на странное занятие. Ее губа была растянута ботоком настолько, что когда-то разорвалась — но концы обрывков были аккуратно связаны кусочком лыка. Как все старухи у ботокудов, она курила трубку с длинным мундштуком, который препотешно лежал на ботокке, как на подносе... Кстати, надо же выменять ботоки!

Этнограф достал красивый целлулоидный гребень, звонко провел ногтем по зубьям, причесался. Старуха заинтересовалась. Как хорошо, что можно говорить на ее языке, а не разыгрывать пантомиму на пальцах!

— Давай меняться на ботоки!

Задумалась. Подошли другие женщины, придвинулся старик — то ли дядя, то ли тесть Муни; гребень нравится всем. Решительным жестом старуха вынула кружки из ушей.

— И этот тоже, — показал этнограф на губное кольцо.

И тут совершенно неожиданно все вокруг покатились от хохота. Старуха смущена и сконфужена. Манизер сует ей в руку треснувший, кем-то выкинутый боток. После минутной нерешительности она, стыдливо при-

крываясь, вытаскивает свой и вставляет «подержанный». Снова хохот — потому что он гораздо меньше, и чтобы его удерживать, старухе приходится оттягивать губы назад. Отсутствие ушных ботоков здесь, по-видимому, никого не смущает, и многие старики ходят без них; однако для женщины остаться без губного «колеса» — по-видимому, верх неприличия» (с.181).

Наблюдая за повадками и характерами ботокудских дам, Манизер отметил: «Среди женщин есть скромницы, сплетницы и интриганки. На лицах некоторых старух с приподнятыми бровями, сжатыми презрительно губами, в их позах с прижатыми к телу локтями столько достоинства, сознания своей правоты и неуязвимости, что отсутствие какой-либо одежды бросается в глаза как смехотворный контраст с манерою держать себя, до мелочей воспроизводящей ужимки важных барынь» (с.186).

Из Рио в Россию Манизер отплыл 2 октября, увозя не только ценнейшие сборы, но и неожиданное открытие — в начале девятнадцатого века в Бразилии несколько лет работала российская экспедиция Г.И.Лангсдорфа, о которой в Петербурге никто не помнил!

Тем временем Гейман, человек общительный и предприимчивый, почти без гроша в карма-

не умудрился побывать в Парагвае и Уругвае, а затем через Кордильеры перебраться в Чили. Читением публичных лекций он накопил некоторый капитал и запаса рекомандательными письмами к самым разным персонам, вплоть до министров. Это помогло ему не только больше месяца прожить у араукан — одного из самых интересных племен Чили, но и собрать коллекцию их серебряных украшений, отправленную Фиельструпом в Россию. Вернувшись в Буэнос-Айрес, он продолжил странствия и добрался до США, где посольство поручило ему приемку боеприпасов для России на одном из оружейных заводов.

Коллекции, собранные пятью путешественниками, сейчас составляют гордость Института этнографии и Зоологического института Академии наук. Судьбы же их самих сложились по-разному — у кого счастливо, у кого трагически.

Иван Дмитриевич Стрельников после возвращения осел в Петрограде-Ленинграде. Докторская степень без защиты диссертации, научная и преподавательская работа и завидное здоровье. В девяносто три года, незадолго до смерти ученый радовался, что может получать удовольствие от чтения своего любимого Канта. Конечно, в подлиннике.

Иная судьба выпала его спутнику Николаю Парфентьевичу Танасийчуку. В 1918—1923 гг. он заведовал Петроградским зоосадам, затем стал работать на Мурманской биологической станции, навсегда связав свою жизнь с морем. На утлых суденышках он плавал к самой кромке льдов, изучал животный мир морского дна и закономерности передвижения рыбных косяков. Но в марте 1933 г. в «Ленинградской Правде» грянула статья «Осиное гнездо», в которой сотрудники биостанции, в том числе «б. офицер Танасийчук» (никогда не служивший ни в какой армии) обвинялись во вредительстве*. Арест, еще один

* Подробнее об истории арестов на Мурманской биологической станции и их последствиях см.: *Танасийчук В.С.* Аресты на Мурманской биологической станции в 1933 году // *Репрессированная наука*. 1994. Вып. 2. С. 306—318; *Танасийчук В.Н.* Дорога в Джурун и обратно // *Звезда*. 1998. № 11. С. 202—214.

арест, три года лагерей. Прорыв лаг на безводном берегу Каспия (в местности Прорва, расположенной между устьями Урала и Эмбы), затем ссылка в Астрахань, а после начала войны спецпереселение вместе с семьей в Актюбинскую область, откуда с огромным трудом удалось вернуться в Астрахань. Умер он в 1960 г.

Трагически сложилась судьба Федора Артуровича Фиельструпа. Он работал в этнографическом отделе Русского музея, в ноябре 1933 г. был арестован вместе со многими другими учеными и умер через десять дней после ареста. Одна знавшая его женщина писала — «Сын датчанина и англичанки, он умер как русский. На допросе».

В непрерывной работе, словно пытаясь обогнать судьбу, жил Манизер. Решив, что нельзя оставаться в стороне от войны, он торопливо — но тщательно редактируя, — пишет серию работ

об индейских племенах Бразилии; ныне они считаются классическими в российской и бразильской этнографии. Уже надев погоны вольноопределяющегося, он дописывает книгу об экспедиции академика Лангсдорфа, заново открыв ее для России. А летом 1917 г. он умирает от тифа на румынском фронте...

Сергей Вениаминович Гейман жил в США, затем во Франции. В 60-е годы он несколько раз приезжал в СССР и передал в Институт этнографии свои путевые дневники.

Ценность книги не только в том, что она возвращает нашей науке и истории судьбу одной забытой экспедиции. Крайне поучительны условия, при которых она была задумана и осуществлена. Ее участники — отважные, предприимчивые, упорные в достижении своей цели — яркий пример служения науке и России. Страна не должна забыть их имена. ■

Биология

М.В. Глазов. РОЛЬ ЖИВОТНЫХ В ЭКОСИСТЕМАХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ. М.: Пасья, 2004. 240 с.

Эта книга завершает первый этап исследований, ведущихся уже 30 лет на Валдайском стационаре Института географии РАН. Началось все с работ А.Н.Формозова, посвященных воздействию позвоночных животных на среду их обитания. Эти исследования привнесли в традиционную биогеографию экологические аспекты. В итоге советская, а затем и российская биогеография, бывшая на протяжении многих лет наиболее «экологизированной» в мире, легко вос-

приняла «концепцию экосистемы» А.Тенсли (1935), став лидером по некоторым направлениям этой науки — например, по «зимней экологии», изучению роли животных в биологическом круговороте зональных экосистем. Достойное место среди этих работ занимали исследования на Валдайском стационаре в Новгородской области, ставшим на долгие годы опорным «таежным» звеном сравнительно-географического анализа средообразующей роли животных в зональных экосистемах. Валдайский стационар — это детище М.В.Глазова. Цель проводимых им систематических наблюдений — изучение роли гетеротрофных организмов в функционирова-

нии и динамике еловых лесов. Была проведена строго дифференцированная оценка воздействия фитофагов на вегетативные и генеративные органы ели. Впервые в отечественной полевой экологии были проведены эксперименты по оценке реакции деревьев ели на искусственное изъятие фитомассы. Результаты изучения воздействия животных на репродуктивный цикл ели оказались для науки новыми.

Каждый, кто ознакомится детально с содержанием книги, найдет для себя что-то особенно интересное, привлекающее внимание. Книга Глазова долгожданная. Теперь появилась возможность получить добротное обобщение, вносящее сущест-

венный вклад в развитие отечественной экологии, биогеографии и биогеоценологии. Перспективным направлением исследований служит изучение внутренних механизмов экосистем и взаимодействие между их компонентами.

К сожалению, многие материалы остались неопубликованными, а некоторые практически недоступны специалистам. Поскольку в настоящее время повторение таких исследований практически невозможно, возникла необходимость обобщить хотя бы часть материалов, полученных в стационаре на протяжении 15 лет.

За период работы стационара был накоплен большой опыт комплексных исследований лесных экосистем, разработаны оригинальные методики изучения биологического круговорота лесных сообществ. Этот опыт может быть полезен многим молодым ученым, ведь наиболее интересные результаты еще впереди.

Охрана природы

Ю.А.Мажайский, С.А.Тобратов, Н.Н.Дубенок, Ю.П.Пожогин. АГРОЭКОЛОГИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ. Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.

В последние десятилетия XX в. человеческая деятельность стала ведущим по значимости и масштабу фактором загрязнения окружающей среды. Одно из последствий развития промышленного и сельскохозяйственного производства — это трансформация природных циклов миграции элементов, в результате чего происходит «металлизация» ландшафтов. При этом изменяется естественный химический состав почв и растений, в том числе растениеводческой продукции. Таким образом, назрела необходимость внести изме-

нения в технологические процессы в промышленности и совершенствовать агротехнологии с целью уменьшения антропогенной нагрузки на ландшафты.

В книге авторы рассмотрели губительные для природы последствия деятельности человека, охарактеризовали основные источники загрязнения, указали пути миграции и трансформации вредных веществ. Основываясь на проведенных исследованиях, они предлагают систему усовершенствования сельскохозяйственного производства на агроландшафтах, подверженных наибольшему воздействию промышленных предприятий (например, Рязанской ГРЭС).

Обществоведение

Е.Л.Фейнберг. ДВЕ КУЛЬТУРЫ. ИНТУИЦИЯ И ЛОГИКА В ИСКУССТВЕ И НАУКЕ. Фрязино: Век 2, 2004. 288 с. (Из сер. «Наука для всех».)

Эта книга — о феномене искусства самого по себе, о его объективной необходимости для человечества и о его связи с наукой. Эта связь приобрела особую значимость в нашу эпоху, которая, по общему признанию, есть время научно-технической революции, небывалого, грандиозного развития науки и техники, занявших ни с чем не сравнимое в истории место в жизни общества. По-новому встает вечная проблема «науки и искусства». Принято считать, что мы — современники беспрецедентной «эпохи науки»; указывают даже определенное время ее начала — середину XX в. Но так ли это, оправдано ли подобное преклонение перед наукой и техникой современности?

Зачем искусство нужно человечеству? Каковы взаимоотношения искусства и науки? Где

кончается логика и начинается интуиция? Ответы на эти вопросы есть в книге.

Общие проблемы «двух культур» — естественнонаучного знания, с одной стороны, искусства и гуманитарных наук — с другой, рассматриваются с философской точки зрения доктором физико-математических наук, академиком Е.Л.Фейнбергом.

На обложке — «Аллегория искусств» Франческо де Мура.

История науки

О.А.Гомазков. ПОРТРЕТЫ РАЗНЫХ ВРЕМЕН. ОЧЕРКИ. ЭССЕ. ПОВЕСТЬ. В авт. ред. М.: ИКАР, 2004. 172 с.

Имя Олега Александровича Гомазкова хорошо известно в научной среде. Ученый-физиолог, доктор биологических наук, автор нескольких монографий и множества научных статей, с 1966 г. он работает в научно-исследовательских институтах Российской академии медицинских наук в Москве. Его перу принадлежат научно-художественные публикации, которые в разные годы печатались в журналах «Юность», «Природа», «Химия и жизнь», «Знание — сила».

Новая книга профессора Гомазкова представляет литературные дневники ученого, где повествуется о судьбах поэта Евгения Боратынского, казанского медика Карла Фукса, царской дочери Ксении Годуновой, немецкого философа Лихтенберга и других. Книгу завершает небольшая повесть «День рождения сына», где читатель найдет необычные описания Амстердама, Парижа и их великих обитателей — Х.Рембрандта, О.Родена, К.Бернара, Наполеона. Предисловие написано академиком В.П.Скулачевым, одним из ведущих современных ученых-биологов.

Эффект инженера Ярковского

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга (МГУ)

В последнее время в связи с астероидной опасностью, грозящей нашей планете, астрономы все чаще используют новый термин — эффект Ярковского. Суть эффекта проста — об этом я расскажу ниже, — но кто такой Ярковский? Авторы по-разному называют его имя, специальность и даже национальность: «польский ученый», «русский инженер». Заинтересовавшись, я нашел труды и жизнеописание И.О.Ярковского (1844—1902) и был очарован личностью этого самобытного человека, талантливого инженера и вдумчивого естествоиспытателя.

Иван Осипович Ярковский родился в Витебской губернии, в местечке Освей, где отец его состоял домашним врачом у графа Шадурского. Ивану было три года, когда он потерял отца. Его мать, оставшись без средств, переселилась в Москву, где нашла место гувернантки. Начальное образование Иван получил в школе при Католической Петропавловской церкви в Москве и был принят на казенный счет в Московский Александринский сиротский кадетский корпус.

С детства Иван Ярковский проявлял способности к математике и механике: еще в кадетском корпусе он изобрел даль-

номер, за что получил от Великого князя Михаила Николаевича золотые часы. По окончании Корпуса в 1862 г. Ярковский был отправлен прапорщиком артиллерии на Кавказ, где и прослужил шесть лет. Атмосфера воинской службы характеризовалась им весьма любопытно: «среда была интеллигентная, всех интересовала литература, много читали». Тем не менее Иван Осипович страстно желал продолжить образование и хлопотал о поступлении в Военно-инженерную академию. Разумеется, молодому офицеру не хотелось оставлять военную службу, сулившую вполне обеспеченную жизнь. Однако хлопоты не увенчались успехом. Получив отказ, Ярковский пытается собственными силами пробить себе дорогу: едет в Петербург и поступает в Технологический институт.

Оставшись без средств, он торопится с окончанием института и поступает на второй курс механического отделения. За время учебы перебивается случайным заработком вроде изготовления проектов, а также издает таблицу умножения до тысячи, которая в то время, при отсутствии счетных линеек и иных механических приборов, представляла немалое удобство при вычислениях. Весной 1869 г. Ярковский сдает все

экзамены за первый и часть второго курса. Совет института разрешает ему держать осенью того же года остальные экзамены за второй и за весь третий курсы, что он и исполняет блестяще, и к началу учебного года становится уже стипендиатом четвертого курса. В 1870 г. он кончает институт технологом первого разряда и сразу же по поручению частной фирмы едет в Берлин, где знакомится с машиностроительными заводами. Осенью того же года он поступает на Киево-Брестскую железную дорогу обер-машинистом, а затем — начальником депо в Казатине.

В 1872 г. Ярковский возвращается в Петербург, где в мае защищает диссертацию «Проект машины для водоснабжения и теоретическое исследование механизма», за что получает звание инженера-технолога и командировку за границу на год. Вступив в июле 1872 г. в брак с Еленой Александровной Шендзиговской, он с женой уезжает за границу, чтобы ознакомиться с механическими заводами Германии, Бельгии и Франции.

В 1873 г. Иван Осипович возвращается в Петербург и поступает на Московско-Брестскую железную дорогу, сначала в Минск на должность сборного мастера, затем, год спустя, переводится в Смоленск начальни-



И.О.Ярковский (1844—1902).

ком депо, наконец, в 1876 г., в Москву начальником вагонных мастерских. Здесь он прослужил около 20 лет, выполнив за этот период много технических и научных работ. Он устраивает особые печи для сжигания нечистот, вводит нефтяное отопление для сварочной печи и разрабатывает парообразователь оригинальной системы. Для сравнения смазочных масел Ярковский строит особый прибор, на котором попутно производит многочисленные опыты, изучая сопротивление воздуха движению крыльев. Он делает много интересных докладов в Московском отделении Императорского русского технического общества и избирается председателем его механической группы.

Не довольствуясь только технической деятельностью, Ярковский посвящает свой досуг научным вопросам. В 1887 г. он выдвигает «кинетическую гипотезу всемирного тяготения». В ней тяготению дается чисто механическое толкование: Ярковский полагал, что гравитационное ускорение тел связано с давлением на них хаотически движущихся частиц

эфира. Всем прочим физическим явлениям также дается «кинетическое» объяснение. Ярковский представлял эфир (гипотетическую среду, переносящую световые колебания) как вполне материальный газ из микроскопических твердых частиц. Атомы же химических элементов он считал значительно более крупными агрегатами эфирных частиц. Каждое физическое тело, по мысли Ярковского, постоянно поглощает частицы эфира, которые внутри него объединяются в химические элементы, увеличивая тем самым массу тела — таким образом звезды и планеты растут. А эффект гравитации, как легко понять, сводится к простому экранированию: присутствие рядом с вами массивного тела, поглощающего поток эфирных частиц, вызывает асимметрию действующего на вас «эфирного давления», что и проявляется как притяжение к этому телу.

Ярковский вполне сознавал, что его гипотеза вызовет массу возражений. Но будучи человеком основательным и преданным науке, он отнюдь не желал явить миру сырой материал и навсегда остаться непризнанным гением. Напротив, он хотел получить критические отзывы ученых, чтобы иметь возможность полнее разработать гипотезу, прежде чем выносить ее на широкую аудиторию. Поэтому он издает свою работу на французском языке под названием «Hypothese cinetique de la gravitation universelle, en connexion avec la formation des elements chimiques» (1888) и не пускает ее в продажу, а рассылает персонально только ученым разных стран. Предисловие к французскому изданию начинается так:

«В руках ваших, читатель, книга, которая, вероятно, возбудит в вас недоверие. Имя автора вам неизвестно, а в заголовке вы находите связанными две вещи, между которыми, я уверен, вы не усматриваете никакого соотно-

шения. В самом деле, что может быть общего, между всемирным тяготением и образованием химических элементов». Далее следует просьба «вооружиться терпением и прочесть эту книгу ранее, чем будет произнесен приговор».

Получив ответы и отзывы на книгу, Иван Осипович заканчивает разработку своей идеи и через год издает уже более обширный и полный труд по-русски под заглавием «Всемирное тяготение как следствие образования весомой материи внутри небесных тел. Кинетическая гипотеза» (1889). Затем он выпускает «Новый взгляд на причины метеорологических явлений» (1891), «Строение материи и молекулярные силы» (1894) и несколько полемических брошюр в защиту своих идей. Последний его прижизненный труд — «Плотность светового эфира и оказываемое им сопротивление движению» (1901).

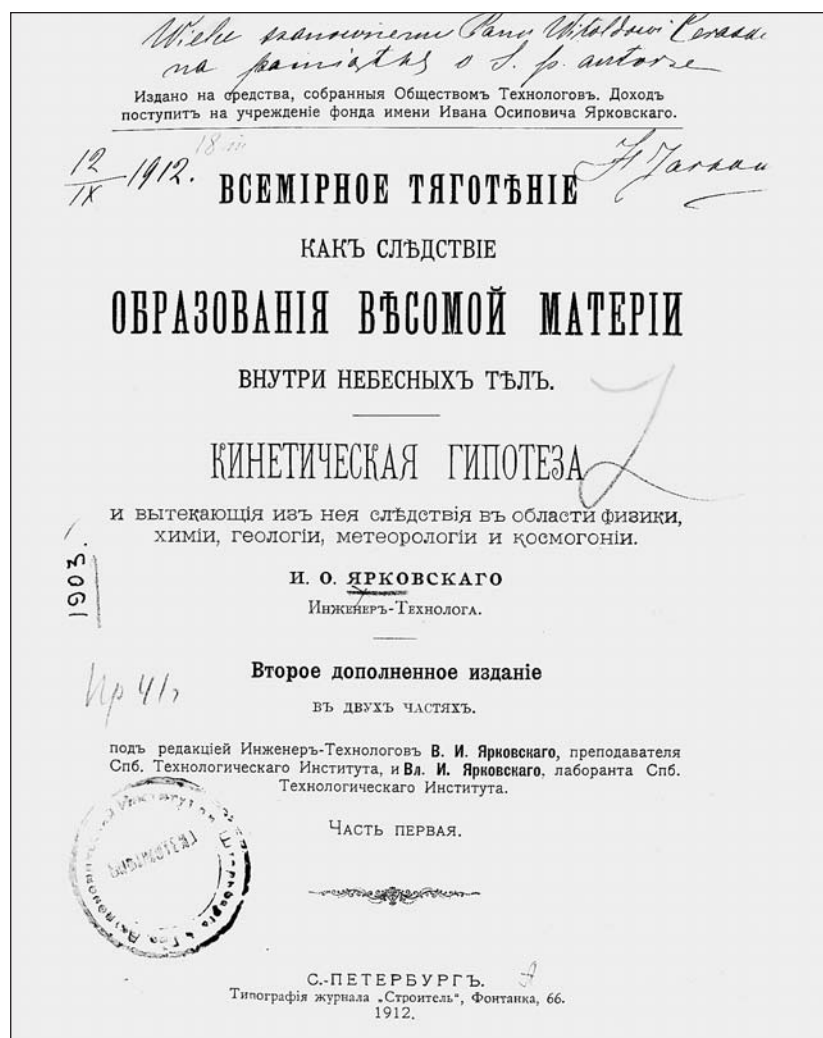
В 1893 г., направляясь в Америку, Ярковский перенес в океане несколько сильных бурь. Стоя на палубе и наблюдая громадные волны, он задался мыслью утилизировать их энергию для движения парохода, чтобы удешевить стоимость его пробега. Вернувшись из путешествия, Иван Осипович изготовил модель такого «волнохода», хорошо поясняющую полезное действие волн. Он предполагал также воспользоваться таким волноходом, укрепленным на якоре, для утилизации энергии волн и переработки ее в электрическую энергию.

Из позднейших изобретений Ярковского интересна его ротативная паровая машина, весьма простой и оригинальной конструкции, которая была запатентована, но которую он не успел применить на деле. В течение своей жизни Иван Осипович посвятил много времени и труда воздухоплаванию; им разработан подробный план и проект испытательной станции для предварительного изучения подъемных винтов.

Богато одаренный, обладавший живостью ума, Янковский не мог по своей натуре отдаться чему-либо одному. Да и обстоятельства его жизни не способствовали этому. Обязательные занятия, необходимые для содержания его многочисленной семьи, поглощали большую часть времени, и только досуг он посвящал побочным захватывающим его работам. Кстати, для более полной характеристики личности Янковского отметим, что он был убежденным спиритом и много лет состоял членом спиритического кружка.

В 1894 г. Иван Осипович оставляет службу на железной дороге и переезжает в Петербург управляющим Невским механическим заводом, а последние пять лет проводит в провинции, в Дяткове Орловской губернии, помощником управляющего заводами Мальцовского акционерного общества. В то время он продолжал свои научные труды, намереваясь издать их на русском, польском и немецком языках. Весной 1901 г. занемог, врачи послали его за границу; несколько месяцев он провел в Верисгофене (Бавария), а затем в октябре его перевезли в Гейдельберг, где он скончался от саркомы 9 января 1902 г. и был похоронен. Спустя 10 лет сыновья Янковского, оба ставшие инженерами, выпустили второе дополненное издание главной книги отца [1].

Казалось бы, «не по чину» инженеру-путейцу публично высказываться по проблемам фундаментальной науки. Однако Янковский во многих вопросах физики и химии демонстрирует глубокие знания и поразительную интуицию. Например, он был защитником идеи атомарного строения вещества, полемизируя в этом вопросе с самим Д.И. Менделеевым, тогда уже знаменитым автором периодического закона. Как известно, идею строения химических элементов из еще более фундаментальных частиц Менделеев называл «утопией». Приводя аргументы

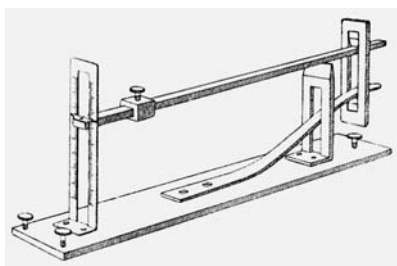


Титульный лист второго (посмертного) издания книги Янковского.

в пользу закона Дальтона (кратность весов всех элементов весу водорода), Янковский замечает: «Я вынужден принять на себя странную роль — именно защищать периодический закон от несправедливых нападок его творца».

Иван Осипович поддерживает идею превращения элементов. Он с одобрением цитирует лекцию В. Крукса «О происхождении химических элементов» (1886): «Идею о генезисе элементов весьма важно держать в уме: она дает некоторую форму нашим воззрениям и приучает ум искать физической причины происхождения атомов. Еще важнее

при этом иметь в виду великую вероятность того, что существуют в природе такие лаборатории, где атомы формируются, и такие, где они перестают быть». Эту догадку Янковский одевает в плоть своей гипотезы: «Великая лаборатория, о которой говорит Крукс, есть всякое тело больших размеров, плавающее в мировом пространстве. В нем элементы образуются из эфира» [2, с. 221]. У современного астронома эти слова вызывают ассоциацию с массивными звездами, со сверхновыми. А «эфир»? Ну что же, сегодня теоретики «делают» Вселенную из вакуума, из квинтэссенции, из струн...



«Гравитоскоп» Янковского — пружинный прибор для измерения силы тяжести.

Однако вернемся к работам Янковского. Главной своей идеей он считал кинетическую гипотезу гравитации. Одним из ее следствий был эффект частичного экранирования тяготения: взаимное притяжение двух тел должно ослабляться, если между ними располагалось третье тело. Пытаясь проверить это опытным путем, Иван Осипович создал чувствительный измеритель силы тяжести: «Я построил прибор, состоящий из рычага, короткое плечо которого было соединено со стальной пластинкой. Рычаг опирался на нож, точно так же, как и соединяющая его короткое плечо с пластинкою сережка была снабжена стальными ножами. Вес длинного плеча рычага, таким образом, уравновешивался упругостью стальной пластинки.

Этот незамысловатый — даже скажу — грубый прибор оказался, однако, довольно чувствительным для того, чтоб убедить меня в изменчивости напряжения силы тяжести. Производя мои наблюдения в продолжении нескольких лет и делая в день по пять-шесть отметок в определенные часы, для меня стало ясно и неопровержимо, что показания прибора изменяются» [2, с.110].

Янковский пытался обнаружить эффект, связанный с суточным и годичным движением Земли, играющей роль экрана для наблюдателя на ее поверхности. При этом он старался учесть влияние иных причин:

вместе с показаниями гравитоскопа фиксировал температуру и давление воздуха. Заметив регулярные вариации силы тяжести, Янковский не спешил с выводами: «Для меня лично опыты мои были вполне убедительны и не оставили во мне ни малейшего сомнения в том, что сила тяжести не представляет собой чего-либо постоянного; но для того, чтобы подобное суждение было принято наукой, нужны конечно новые, более точно обставленные опыты, притом не одного человека, а нескольких компетентных лиц, и с более точными приборами. Я буду вполне вознагражден, если мое настоящее заявление побудит к производству этих опытов» [2, с.111]. И побудило: такие опыты проводились весь XX в. как профессиональными учеными, так и любителями.

Справедливость своей теории Янковский пытался проверить и во время полного солнечного затмения 7 августа 1887 г., когда роль гравитационного экрана играла Луна: «Я отправился в местность близ Москвы, где фаза полного затмения продолжалась около 30 с (деревня Владыкино), захватив с собой термометр, барометр и мой прибор. По всем трем приборам я делал отметки каждые 5 мин. Как известно, окрестности Москвы в это утро были покрыты густым, совершенно непроницаемым туманом. Во все время затмения ни термометр, ни барометр не показали ровно ни малейшего изменения <...>. Совершенно другое показал мне мой прибор. С момента первого контакта рычаг прибора, находившийся до тех пор в абсолютном покое, начал понижаться; по мере продвижения Луны на Солнце опускание продолжалось все более и более и достигло своего maximum'a 8 мин спустя после полного затмения, после чего рычаг стал подниматься <...>. Такое показание убедило меня окончательно, что изменение показаний рычага не есть результат

изменения ни температуры, ни барометрического давления» [2, с.112].

Вероятно, этот последний опыт убедил Янковского в необходимости опубликовать его теорию гравитации. Она относится к тем механистическим моделям тяготения, которые были порождены в XIX в. успехами кинетической теории газов. На определенном этапе такие модели стали весьма популярны, в их разработке принимали участие корифеи теоретической физики — Дж.Максвелл, А.Пуанкаре и др. Упорные попытки создать на смену феноменологической модели И.Ньютона более наглядную «физическую» модель гравитации продолжались и в начале XX в. В конце концов это направление было признано тупиковым, и профессиональные физики более к нему не обращались [3].

Однако теория гравитации Янковского еще долго возбуждала (и до сих пор еще возбуждает!) энтузиазм некоторых ученых, идущих, как они утверждают, своей дорогой, часто не вписываясь в традиции «официальной» науки. После провала теории светоносного эфира на роль частиц, обеспечивающих своим импульсом эффект гравитации, предлагались иные кандидаты. Последними из них, если не ошибаюсь, были нейтрино, обладающие, как теперь известно, массой покоя. Но какие бы частицы ни предлагались на роль гравитонов, важнейшей привлекательной стороной теории Янковского для нетрадиционной науки служит идея о поглощении этих частиц космическими телами и их превращении в нормальные химические элементы. В результате этого масса и объем космического тела должны возрастать. А это замечательно вписывается в идею некоторых геологов о расширении Земли и взаимном раздвижении материков, конкурирующую, как им кажется, с идеей вегенеровского мобилизма, предполагающей дрейф материков.

Любопытно, что именно несостоятельные идеи Яковлевского нашли своих подвижников. В 1933 г. мысль о расширении Земли высказал немецкий геофизик Отто Христоф Хильгенберг. Он предположил, что несколько миллиардов лет назад земной шар имел вдвое меньший диаметр, так что материки сплошь покрывали поверхность Земли, смыкаясь своими границами. Эту идею развивали венгерский геофизик Л.Эдвэд, американский геолог Б.Хейзен и другие, включая и наших энтузиастов [4]. Сейчас в России существует целое направление паранауки, основная идея которого состоит в превращении физических полей в вещество при комнатных условиях. Рассматриваются геологические следствия этой гипотезы — рост массы планет, возрастание их объема, рост силы тяжести на поверхности (для объяснения гигантизма животных в прошлом), раздвижение материков (для объяснения молодости океанической коры и взаимного подобия континентальных границ), ну и т. п. Энтузиасты этого направления не забывают о гравитационной теории Яковлевского, а некоторые считают себя его прямыми идейными приемниками. А вот по-настоящему оригинальная идея Яковлевского оказалась практически забыта на его родине, недавно нам о ней напомнили из-за рубежа.

Речь идет о так называемом «эффекте Яковлевского». Иван Осипович пришел к этой идее в поисках ответа на вопрос: «Почему движение планет не тормозится сопротивлением эфира?». Само существование светоносного эфира он не подвергал сомнению, как и большинство физиков той эпохи. Но, как человек технического склада, он не разделял точку зрения сторонников нематериальной среды, переносящей свет и при этом не участвующей в механических взаимодействиях. Яковлевский считал эфир тонкой, но вполне ощутимой сре-

дой, состоящей из микроскопических частиц и тормозящих движение погруженных в него тел: «Если эфир есть материальный газ, то как бы он ни был упруг и тонок, все же он должен оказывать известное сопротивление движению <...>. Между тем, одна из точных наук, астрономия, доказывает нам неопровержимо, что подобного замедления в движении небесных тел совершенно не замечается» [1, с.249].

Наглядный пример равномерного движения при наличии сопротивления среды инженер Яковлевский находит... на речном фарватере:

«Положим, вы смотрите на быстродвигающийся по воде пароход. Вы видите, что он идет совершенно равномерно, вы не замечаете никакого замедления в его движении; разве вы вправе из этого заключить, что пароход не встречает никакого сопротивления? Нет, подобного заключения вы и не сделаете, потому что знаете, что в пароходе имеется паровая машина, работа которой идет на постоянное преодоление этого сопротивления.

Но нет ли подобной машины и в каждой из планет? Нетрудно убедиться, что в каждой планете существует двигатель, работа которого тратится постоянно на преодоление сопротивления эфира поступательному движению планеты. Я скажу более, двигатель этот есть calorическая машина, построенная по всем правилам механики, и в которой источником теплоты служат лучи солнца».

Далее Иван Осипович объясняет суть эффекта. Взаимодействие планеты с окружающим ее эфиром подобно взаимодействию пористого тела с окружающим его газом: частицы газа, проникающие в поры тела, при низкой температуре адсорбируются веществом, но при высокой могут освободиться и покинуть тело. По мнению Яковлевского, планета поглощает эфир, который в ее недрах частично

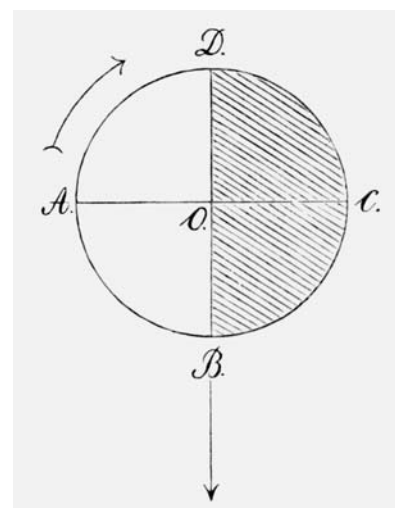
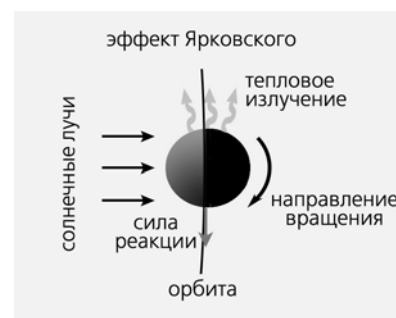


Рисунок Яковлевского, поясняющий предсказанный им термомеханический эффект.



Эффект Яковлевского в современной трактовке, в терминах механической реакции теплового излучения.

превращается в химические элементы, а частично — покидает планету. Чем выше температура поверхности планеты в данном месте, тем интенсивнее частицы эфира устремляются наружу, создавая эффект отдачи.

Если планета не имеет суточного вращения, то наиболее теплой является полуденная часть ее шара; в этом случае эффект отдачи действует вдоль линии притяжения к Солнцу, немного ослабляя его. Сегодня мы назвали бы это «давлением солнечного света». Но вспомним: П.Н.Лебедев доказал опытным путем давление света на твер-

дые тела лишь в 1899 г., а на газы — в 1907 г. Поэтому Ярковский в своих рассуждениях вполне оригинален. Наиболее остроумная его догадка касается вращающейся планеты: суточное движение переносит нагретый участок поверхности к вечерней стороне шара, следовательно, эффект отдачи будет сильнее всего именно там и станет подталкивать планету вдоль орбиты в направлении утреннего терминатора. В конце XIX в. данные астрономии указывали, что все планеты, исключая Уран, движутся утренним терминатором вперед. Значит, указанный эффект будет противодействовать сопротивлению эфира. «Итак, — заключает Ярков-

ский, — двигатель планет — это солнечные лучи».

Многое изменилось за прошедшие 100 лет в наших представлениях о свете. Сегодня мы уже не нуждаемся в эфире, чтобы описывать распространение света и перенос им импульса. Это свойство электромагнитных колебаний следует из волновых уравнений Максвелла, который и сам отдал немало сил изучению гипотезы эфира. Теория квантов сделала световое давление вполне «ощутимым» на уровне здравого смысла. Эфира нет. Казалось бы, это лишает оснований все рассуждения Ярковского. Однако подмеченный российским инженером небесномеханический эффект все же

имеет место и играет роль в жизни планетной системы.

Знакомство с жизнью и работами Ивана Осиповича Ярковского оказалось для меня весьма поучительным. Я еще раз увидел, сколь высок был культурный уровень дореволюционного российского инженера, сколь привлекательна фундаментальная наука для специалистов технического профиля и, наконец, сколь ошибочен обывательский взгляд на науку как на цепь революционных переходов от одной теории к другой. Наука — это, прежде всего, преемственность; это процесс, в котором ни одна хорошая идея не исчезает бесследно, на какой бы почве она ни произрастала. ■

Литература

1. Ярковский И.О. Всемирное тяготение как следствие образования весомой материи внутри небесных тел. Кинетическая гипотеза и вытекающие из нее следствия в области физики, химии, геологии, метеорологии и космогонии. СПб., 1912.
2. Ярковский И.О. Всемирное тяготение как следствие образования весомой материи внутри небесных тел. Кинетическая гипотеза. М., 1889.
3. Визгин В.П. Релятивистская теория тяготения (истоки и формирование. 1900—1915 гг.). М., 1981.
4. Нейман В.Б. Расширяющаяся Земля. М., 1962.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароковский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 18.10.2004
Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 8808
Набрано и сверстано в редакции

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