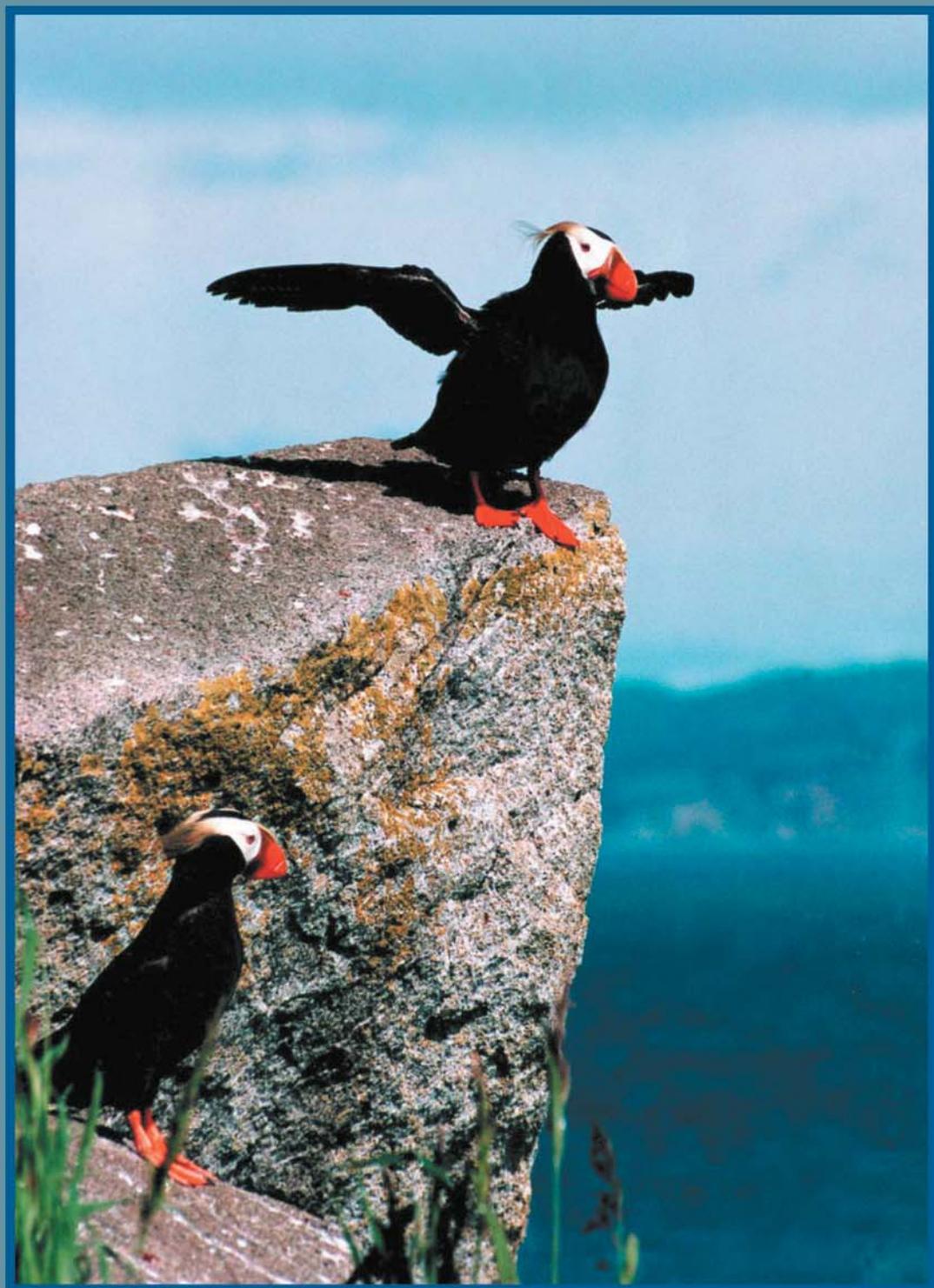


ПРИРОДА

10 02



В НОМЕРЕ:**3 СОЛНЕЧНЫЕ НЕЙТРИНО****Копылов А.В.****Нейтрино продолжают удивлять (3)****Комар А.А.****Проблема дефицита солнечных нейтрино экспериментально решена (6)****8 Шейн Е.В.****Почвенные парадоксы**

Почему вода не течет в сухую почву, а впитывается только во влажную? Это странное и, казалось бы, необъяснимое явление по сути отражает общие природные законы переноса вещества.

**12 Табулевич В.Н., Черных Е.Н.,
Потапов В.А., Дреннова Н.Н.****Влияние штормовых вибраций на землетрясения**

Поскольку землетрясения вызваны сбросом накопившихся напряжений в земной коре, то должен существовать механизм, дающий возможность «потрясти» конкретный участок, чтобы снять эти напряжения. Существует ли такой механизм в природе?

**17 Чернышев Г.Н., Попов А.Л.,
Козинцев В.М.****Полезные и опасные остаточные напряжения**

Остаточные напряжения могут быть одной из главных причин техногенных аварий и разрушений надежных на первый взгляд конструкций в технике и в быту, и тем не менее ни один стандарт не устанавливает предельно допустимых значений для таких напряжений.

Научные сообщения**25 Басов И.А.****Результаты 191-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн»****26****Калейдоскоп**

Призыв нобелевских лауреатов (26). Искусство пострадало, а наука выиграла (27). Умирающие озера Австралии (27). Тревожные дни на Новой Гвинее (28). Траулеры ставят «клеймо» на североатлантические кораллы (28). Соляная пустыня служит науке (28).

29 БИОЛОГИЯ НА КРАЮ ЕЕ «АРЕАЛА»

Институту биологических проблем Севера ДВО РАН 30 лет. **Кашин В.А.**

Чернявский Ф.Б.**Лемминговые циклы (34)****Андреев А.В., Голубова Е.Ю.,
Китайский А.С.****Колонии морских птиц острова Талан: разрешающая сила постоянства (41)****Хорева М.Г.****Флора Северной Охотии и островной эффект (51)****Берман Д.И.****Идеальный приспособленец, или Адаптивная стратегия сибирского углозуба (59)****Деренко М.В., Малярчук Б.А.****Генетическая история коренного населения Северной Азии (69)****Достойные... но неудостоенные****77 Блох А.М.****«Нобелиана» Николая Николаевича Боголюбова****Новости науки****83**

*Мы живем в гигантском раскаленном облаке (83). Солнечная система «пылит» (83). Астрономам подарок — искусственная звезда (84). Меркурий: планы американских ученых (84). На Ио идет снег... очень странный (84). Пылевые бури (85). Рекордное значение постоянного магнитного поля (85). Почему процветают виды-вселенцы? **Гиляров А.М.** (86). Что происходит в магнитосфере? (86). Земная кора в Цусимской котловине (87). В окрестностях Санкт-Петербурга теплеет. **Померанец К.С.** (87). Увидеть вулкан изнутри (88). Потепление продолжается (88). Свидетельствует ледник Принс-Густав (89). Эоловые отложения на островах Северо-Западной Пацифики (89). **Объявления** (7)*

Рецензии**90****ИССЛЕДОВАТЕЛИ АРКТИКИ:
А.В.КОЛЧАК И М.М.ЕРМОЛАЕВ****Корякин В.С.****«Любимец» советской цензуры (90)****Биография, которой хватило бы на десятилетия (92)****Новые книги****95**

CONTENTS:

3 SOLAR NEUTRINOS

Kopylov A.V.

Neutrinos Continue to Surprise Us (3)

Komar A.A.

The Problem of Solar Neutrino Deficit Solved Experimentally (6)

8 Shein E.V.

Soil Paradoxes

Why is it that water does not flow into dry soil, but is only absorbed into wet soil? This strange and seemingly unexplained phenomenon essentially reflects universal laws of material transport.

12 **Tabulevich V.N., Chernykh E.N., Potapov V.A., and Drennova N.N.**

Influence of Storm Vibrations on Earthquakes

Since earthquakes are caused by the release of stresses accumulated in the Earth's crust, there must be a mechanism allowing a particular area to quake in order to release these stresses. Is there such a mechanism in nature?

17 **Chernyshev G.N., Popov A.L., and Kozintsev V.M.**

Useful and Hazardous Residual Stresses

Residual stresses can be one of the main causes of accidents and the destruction of apparently reliable industrial and residential structures; nevertheless, not a single standard specifies maximum allowable values for such stresses.

Scientific Communications

25 **Basov I.A.**

Results of the 191th Cruise of the JOIDES Resolution

Kaleidoscope

26

An Appeal from Nobel Prize Winners (26). Art Losing and Science Gaining (27). The Dying Lakes of Australia (27). Alarming days on New Guinea (28). Trawlers Leaving Their Marks on North Atlantic Corals (28). The Salt Desert at the Service of Science (28).

29 BIOLOGY AT THE EDGE OF ITS «RANGE»

The Institute of Biological Problems of the North Is 30. **Kashin V.A.**

Chernyavsky F.B.

Lemming Cycles (34)

Andreev A.V., Golubova E.Yu. and Kitaisky A.S.

Colonies of Marine Birds of Talan Island: The Resolving Power of Constancy (41)

Khoreva M.G.

Flora of the Northern Sea of Okhotsk and the Island Effect (51)

Berman D.I.

The Perfect Adapter, or The Adaptive Strategy of the Siberian Salamander (59)

Derenko M.V. and Malyarchuk B.A.

Genetic History of the Indigenous Population of North Asia (69)

Honorable... but Unhonored

77 **Blokh A.M.**

Nobel Nonprize to Nikolai Nikolaevich Bogolyubov

Science News

83

We Live in a Gigantic Hot Cloud (83). The Solar System Emits Dust (83). Astronomers Are Presented with an Artificial Star (84). Mercury: Plans of American Scientists (84). Snow Is Falling on Io... Very Strange Snow (84). Dust Storms (85). Record Value of the Direct Current Magnetic Field (85). Why Are Introduced Species Thriving? Gilyarov A.M. (86). What Is Happening in the Magnetosphere? (86). The Earth's Crust in the Tsushima Basin (87). It is Getting Warmer in the Environs of St. Petersburg. Pomeranets K.S. (87). To See the Volcano from within (88). The Warming Goes on (88). Evidence Given by the Prince Gustav Glacier (89). Aeolian Deposits on NW Pacific Notice (7)

Book Reviews

90

ARCTIC RESEARCHERS: A.V.KOLCHAK AND M.M.ERMOLAEV

Koryakin V.S.

The «Darling» of the Soviet Censorship (90)

A Biography that Would Suffice for Ten (92)

New Books

95

СОЛНЕЧНЫЕ НЕЙТРИНО

На протяжении многих лет физикам не давало покоя расхождение между расчетной и измеренной величинами потока нейтрино от Солнца — так называемый дефицит солнечных нейтрино. Наш журнал старался держать читателя в курсе событий в этой области науки: мы не раз публиковали и большие статьи, и краткие сообщения на данную тему*. И вот, наконец, эксперимент ставит точку в тридцатилетней дискуссии.

Нейтрино продолжают удивлять

А.В.Копылов,
кандидат физико-математических наук
Институт ядерных исследований РАН
Москва

Нейтрино — наиболее таинственная частица в мире элементарных частиц. Для его характеристики вполне уместно использовать такие термины, как «исчезающее», «неуловимое». Уловить отдельно взятое нейтрино — дело совершенно безнадежное, для него почти любая материя прозрачна. Когда говорят о его регистрации, имеют в виду, что из многих миллионов некоторые способны оставить след в детекторе, не более. А что касается термина «исчезающее», то не только нейтрино исчезает, но вместе с ним и энергия, вырабатываемая в реакторе (для реактора мощностью порядка 1 ГВт потери за счет нейтрино составляют миллионы Ватт!).

* См., например, подробный обзор: Копылов А.В. Проблема солнечных нейтрино: от прошлого к будущему // Природа. 1998. № 5. С.31—40. № 6. С.27—36.

Один раз в два года проводятся международные конференции «Нейтрино», на которых представляют результаты, полученные за истекшее время. По сути устраивается своеобразный смотр в мире нейтринной физики. В этом году очередной смотр, двадцатый по счету, проводили в Германии 25—30 мая, в столице Баварии — Мюнхене, под патронажем Общества Макса Планка. Организатором конференции был также Технический университет Мюнхена. Участие в ней приняли более 400 человек.

Главная новость, прозвучавшая на конференции: на установке SNO (Нейтринная обсерватория в Садбери) в Канаде измерена интенсивность расщепления дейтона под действием нейтрино от Солнца по так называемому каналу нейтральных токов, т.е. без рождения соответствующего лептона. Эта реакция

$$d + \nu \rightarrow p + n + \nu$$

идет с одинаковой скоростью для любого типа нейтрино. Сопоставление измеренного темпа счета данной реакции со счетом реакции по каналу заряженного тока

$$d + \nu \rightarrow p + p + e^{-},$$

которая вызывается только электронными нейтрино, обнаружило, что поток электронных нейтрино от Солнца, достигающий Земли, составляет лишь треть, остальные две трети — нейтрино неэлектронные (мюонные и/или тау-нейтрино). В них нейтрино электронное превратилось, по-видимому, за счет осцилляций**.

Физически эффект осцилляций связан с тем, что разные типы нейтрино могут переходить друг в друга (смешиваться). В результате возникают новые нейтринные состояния с заданными массами,

**Более подробно об этом эксперименте см. в этом же номере журнала: Камар А.А. Проблема дефицита солнечных нейтрино решена. С.5—7.

которые линейным образом выражаются через исходные состояния нейтрино. Коэффициентами линейного преобразования являются синусы и косинусы углов смешивания, определяющие вероятность перехода одного нейтрино в другое (большие углы означают сильное смешивание). В процессе распространения нейтрино от точки образования возникают пространственные осцилляции, частота которых среди прочего зависит от разности квадратов масс новых нейтринных состояний $\Delta m^2 = m_2^2 - m_1^2$.

Данный результат получен с очень высокой достоверностью — вероятность ошибки здесь меньше 0.1%. Год назад сходный вывод был сделан после сравнения темпов счета по каналу заряженного тока на установке SNO и по каналу упругого рассеяния нейтрино на электронах на установке SuperKamiokande в Японии*, однако тогда достоверность была еще недостаточной для результата, претендующего на фундаментальную важность.

Новые данные уже вполне убедительны и, кроме того, самодостаточны, т.е. получены на одной установке, что снимает вопросы о возможности неучтенной методической ошибки в силу использования разных методик. Сопоставление результата SNO с результатами других нейтринных экспериментов — хлорного в Хоумстейке (США); галлиевых, советско-американского сотрудничества SAGE и европейского сотрудничества GALLEX (на начальной фазе) и GNO (в настоящее время); Kamiokande и SuperKamiokande в Японии — показывает, что наиболее вероятная область допустимых параметров нейтринных осцилляций — область больших углов смешивания с разностью квадратов масс Δm^2 порядка 10^{-5} эВ². Этот количественный результат еще подлежит проверке — нужны новые данные, предпочтительно с использованием независимых методов.

* Сообщение об этом см.: Бялко А.В. Парадокс солнечных нейтрино разрешен // Природа. 2001. №9. С.79.

Один из них уже практически реализуется: на установке KamLAND в Японии приступили к измерению потоков антинейтрино от десяти реакторов (Kashiwazaki, Ohi, Takahama, Shiga, Tsuruga, Mihama, Hamaoka, Fukushima-I, Fukushima-II, Tokai-II), расположенных на расстоянии от 150 до 200 км от детектора SuperKamiokande. По замыслу, намечается блестящий эксперимент, результат которого будет представлять огромную важность для дальнейшего развития нейтринной физики. Если осцилляции действительно происходят в области больших углов смешивания, откроется дорога широкому спектру нейтринных исследований с применением суперускорителей и детекторов нового поколения. Основная задача: определить массовый состав нейтринного сектора, элементы матрицы смешивания, выявить возможное нарушение *CP*- и *CPT*-четностей. *CP*-четность может нарушаться, поскольку матрица смешивания размерности 3×3 , которая описывает переход от базиса трех масс к базису трех ароматов (типов) нейтрино, в общем виде содержит комплексную фазу δ , ответственную за такое нарушение. Здесь просматривается почти полная аналогия с тем, что мы наблюдаем в кварковом секторе. Исследовать гипотетическое нарушение *CP*-четности у нейтрино можно, сравнивая осцилляции для нейтрино и антинейтрино: если они различаются — налицо искомое нарушение. *CPT*-четность — более фундаментальная характеристика. Если теория локальна и если выполняется Лоренц-инвариантность, то *CPT*-четность должна автоматически сохраняться. Пока примеров, опровергающих эту теорему, не найдено, и у нас нет никаких сколько-нибудь серьезных аргументов, почему *CPT*-четность должна нарушаться для нейтрино. В эксперименте это бы приводило к различию масс нейтрино и антинейтрино. Но нейтрино настолько необычная частица, постоянно преподносящая сюрпризы (взять хотя бы наблюдаемые

в настоящее время большие углы смешивания, что кардинально отличается от происходящего в случае кварков) — нельзя исключать и других неожиданностей.

Если эффект осцилляций солнечных нейтрино окажется связанным с меньшими углами смешивания и уйдет в область более низких Δm^2 , то ускорительные эксперименты сосредоточатся главным образом на области параметров нейтринных осцилляций, обнаруженных с атмосферными нейтрино ($\Delta m^2 = 2.3 \cdot 10^{-3}$ эВ²), а область с более низкими Δm^2 будет исследоваться в экспериментах с солнечными нейтрино. Солнце — бесценный источник электронных нейтрино, генерирующихся в ядерных реакциях, а огромное расстояние между Солнцем и Землей предоставляет уникальную возможность для изучения осцилляций нейтрино. В любом случае область с Δm^2 ниже 10^{-4} эВ² останется за эксперименталистами с солнечными нейтрино, поскольку для ускорительной техники — это предел возможного. Зато об осцилляциях типа $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ ускорительные эксперименты могут дать богатейшую информацию. Для получения полноценного экспериментального материала на установке KamLAND нужно набирать статистику примерно три-четыре года, но очень скоро мы будем располагать предварительными данными, весьма существенными для решения вопроса о параметрах нейтринных осцилляций типа $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$.

Уже несколько лет вызывает дискуссии результат, полученный в эксперименте LSND (США), где наблюдаются осцилляции антинейтрино мюонных в антинейтрино электронные, при этом разность квадратов масс составляет величину порядка эВ². Если результат эксперимента LSND принимать всерьез, мы имеем три разных масштаба разности квадратов масс, а это в свою очередь означает, что должны существовать, как минимум, четыре разных типа нейтрино. Но такое предположение противоречит данным, полученным при исследовании *Z*-бозона (при измерении его рас-

падной ширины), согласно которым должно быть не более трех типов активных нейтрино. Таким образом, данные LSND вносят существенную путаницу в наши современные представления, что есть что. Чтобы совместить четыре нейтрино с тремя активными, надо либо вводить неактивное, так называемое стерильное нейтрино, либо допустить несохранение *CPT*-четности. В первом случае нейтрино электронное может превратиться в нейтрино стерильное и исчезнуть для эксперимента, так как стерильное нейтрино в ядерные реакции не вступает. По современным данным, такой вариант почти исключается, так что в экспериментах с атмосферными нейтрино мы наблюдаем превращение нейтрино мюонного в нейтрино тау, а в экспериментах с солнечными — нейтрино электронного в нейтрино мюонное (или тау). Во втором случае массы нейтрино и антинейтрино должны отличаться, и эта возможность будет исследована в эксперименте KamLAND. В общем результат LSND не очень

вписывается в картину. На конференции было заявлено, что эксперимент MiniBOONE в США, который как раз ставит задачу его прояснить, уже на ходу, так что примерно через год мы будем располагать важной информацией, которая сможет серьезно продвинуть нас в исследовании нейтринных осцилляций.

Хотелось бы еще отметить следующее. Эксперименты с солнечными нейтрино, конечно, очень перспективны, однако в будущем, учитывая экспериментальный материал, который предстоит получить в ближайшие пять лет, выживут только те проекты, которые способны обеспечить прецизионность измерений. Точности в 10 и даже 5% уже недостаточно, нужен уровень 1—2%, не более! А это означает, что сечение взаимодействия нейтрино с мишенью должно быть рассчитано с точностью порядка 1%. Если же речь идет о калибровке сечения искусственным источником нейтрино, она тоже должна обеспечивать точность такого же порядка, что требует очень высокой активности

источника нейтрино. Среди ядерных мишеней лишь для немногих сечение взаимодействия нейтрино может быть вычислено с такой высокой точностью, в качестве примера можно привести ${}^7\text{Li}$, ${}^{100}\text{Mo}$. Перспективным представляется разработка новых детекторов типа BOREXINO, использующих реакцию упругого рассеяния нейтрино, которое поддается высокоточному расчету. Здесь особенно стоит отметить проекты с использованием жидких инертных газов, таких как гелий, неон, ксенон. Прорабатываются также детекторы с использованием новых сцинтилляторов. Пока сложно делать какие-либо прогнозы на будущее, однако несомненно одно: впечатляющий успех, продемонстрированный в исследовании солнечных нейтрино, показывает, что инвестиции в эту область науки целиком себя оправдали, так как на выходе мы имеем результат фундаментальной важности. На конференции звучали победные нотки, в хорошем смысле эту конференцию можно было бы назвать конгрессом победителей. ■

Проблема дефицита солнечных нейтрино экспериментально решена

А.А.Комар,

доктор физико-математических наук
Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН
Москва

Термином «дефицит солнечных нейтрино» характеризуют ситуацию с отклонением теоретически рассчитанной

величины потока солнечных нейтрино, достигающего нашей планеты, от его величины, реально измеренной на Земле (точнее под Землей) с помощью специально разработанных для этой цели де-

текторов. В зависимости от типа детекторов экспериментальное значение оказывалось в диапазоне 1/3—1/2 от предсказанного. Для теоретической оценки потока этих нейтрино принято ис-

пользовать так называемую Стандартную модель Солнца (СМС), которая достаточно полно учитывает все основные параметры процессов, происходящих в недрах светила, в первую очередь тех, что связаны с реакциями термоядерного синтеза легких ядер. Имеется в виду знание типов соответствующих реакций, их сечений, плотности вещества и температуры в центральной области Солнца и т.д. Расхождение между оцененной величиной потока нейтрино и экспериментом, иными словами, дефицит солнечных нейтрино, не мог не обеспокоить физиков. Он как бы ставил под сомнение правильность представлений о механизмах энерговыделения на Солнце. Эта озабоченность возникла достаточно давно, вскоре после получения первых результатов измерений потоков нейтрино радиохимическим (хлорным) детектором в США, более 30 лет тому назад, хотя данные упомянутого эксперимента были тогда еще не очень надежны. Однако со временем проблема дефицита солнечных нейтрино лишь обострилась. Все более поздние измерения их потока на Земле (водный детектор SuperKamiokande в Японии, радиохимические детекторы на основе галлия SAGE в России и GALLEX в Италии) с возрастающей надежностью указывали на уменьшенную (по сравнению с расчетной) величину.

В качестве возможного, наиболее естественного пути разрешения возникшей проблемы широко обсуждались различные модификации модели Солнца, более или менее отличающиеся от СМС. Но не очень значительные поправки к модели не меняли существенно величину потока нейтрино, а более радикальные варианты модификации не выдержали проверки временем.

Нестандартной альтернативой для объяснения дефицита солнечных нейтрино, которая постепенно все больше набирала популярность в литературе, стала гипотеза об осцилляциях нейтрино. Центр тяжести обсуждения

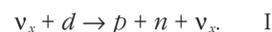
в этом случае переносился с модели Солнца на свойства частиц. Возникновение подобной идеи оказалось возможным вскоре после обнаружения двух разных типов нейтрино в 1962 г. — электронного и мюонного. Наличие двух типов нейтрино в принципе не исключало их взаимодействия и, как следствие, появления взаимных переходов (осцилляций). И в 1968 г. Б.М.Понтекорво первым обратил внимание на то, что процесс осцилляций мог бы объяснить уменьшение потока солнечных нейтрино на Земле.

Нетривиальность идеи осцилляции — в отказе от постулата о сохранении заданных лептонных чисел для нейтрино. Иными словами, предполагается, что электронное нейтрино может с определенной вероятностью перейти в мюонное, а затем обратно — в электронное. В этот процесс может вовлекаться и другое нейтрино — тау. Исходящие из глубин Солнца нейтрино определенного типа по мере их движения к Земле превращаются в другой тип, затем снова в исходный и т.д. — они реально осциллируют в пространстве. В каком виде частицы обнаружатся в конце пути, зависит, конечно, от длины осцилляций (расстояния, которое нейтрино необходимо пройти для соответствующего превращения). Если она заметно меньше астрономической единицы, можно допустить, что на базе Солнце—Земля происходит усреднение осцилляций. В этом случае на Земле интенсивность нейтрино исходного типа может упасть примерно вдвое (если учитывать только два типа нейтрино) или даже заметнее (если в процесс осцилляций включаются все три).

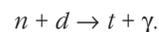
Уменьшение интенсивности исходного типа нейтрино при наличии осцилляций и есть возможный ключ к объяснению их дефицита. Дело в том, что в недрах Солнца рождаются электронные нейтрино. Все упомянутые выше детекторы были специально приспособлены для регистрации частиц данного типа. И если интенсивность электронных нейтрино,

доходящих до Земли, уменьшается, детекторы автоматически зафиксируют это, а других нейтрино, появившихся у поверхности Земли, просто «не заметят».

Для решающей проверки гипотезы было необходимо построить детектор, который в равной степени был бы чувствителен к нейтрино всех типов. Простая и остроумная идея такого детектора была предложена в 1985 г. американским физиком Х.Ченом на основе использования тяжелой воды D₂O. Дейтерий, входящий в состав тяжелой воды, при рассеянии на нем любых типов нейтрино, легко расщепляется (порог расщепления всего 2.2 МэВ) на протон и нейтрон:

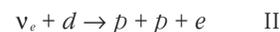


Образовавшийся нейтрон после замедления поглощается другими ядрами дейтерия, в изобилии присутствующими в тяжелой воде:

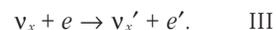


При этом рождается γ -квант с характерной энергией $E = 6.25$ МэВ, что и служит сигналом регистрации пришедшего извне нейтрино *любого* типа (если отвлечься от фоновых нейтронов).

Кроме того, в мишени из тяжелой воды осуществляются две другие, более привычные реакции:



(данный процесс близок к аналогичным процессам, протекающим на ядрах радиохимических детекторов; он характерен только для ν_e) и рассеяние



Последнее — точный аналог реакции, которая регистрируется детектором SuperKamiokande, созданным на базе 50 000 т обычной воды H₂O. В основном она чувствительна к ν_e и в слабой степени к другим нейтрино.

Хотя в принципе идея создания мишени на основе тяжелой воды выглядит простой, ее техническое воплощение заняло много времени. Эксперимент начался только в 1999 г. Прежде всего для

его реализации потребовалась 1000 тонн тяжелой воды, что было довольно сложной задачей. Далее надо было защитить объем мишени от попадания других частиц, которые могли бы породить паразитные (фоновые) сигналы. Решение было найдено своеобразное. Тяжелую воду заключили в сферу диаметром 12 м из прозрачного пластического материала (акрила), которую в свою очередь разместили внутри бочкообразного сосуда с максимальным размером 22 м. Этот внешний сосуд был также заполнен водой, на сей раз обычной. Внутри водной среды «бочки» на специальной поддерживающей конструкции были размещены 9456 фотоэлектронных умножителей, которые через прозрачную оболочку внутренней сферы и просматривали объем с тяжелой водой. Обычная вода во внешней оболочке служила активной защитой, в первую очередь от фоновых нейтронов. Кроме того, тяжелая вода и обычная вода были максимально очищены от радиоактивных примесей, которые также могли являться источником фоновых нейтронов и давать вклад в фон. Наконец, как это делается со всеми нейтринными детекторами, вся установка была размещена в подземной шахте, в данном случае вблизи местечка Садбери (Канада, Онтарио) на глубине 2 км для максимальной изоляции от внешних воздействий. Там и была создана Нейтринная обсерватория — SNO

(Sudbury Neutrino Observatory). Отметим, кстати, что и выбор места, и большие усилия по минимизации фона дали отличный результат: фоновые отсчеты в установке составили ~3% от общего числа зарегистрированных событий.

В результате измерений, которые велись в течение примерно полутора лет (1999—2001), оказалось возможным выделить события, относящиеся ко всем трем реакциям: I, II и III. Во всех случаях, ввиду аппаратных пороговых ограничений, измерения имели отношение к части спектра солнечных нейтрино с высокими энергиями (это так называемые борные нейтрино — нейтрино от распада ${}^8\text{B}$). Реакция II дала возможность оценить поток электронных нейтрино для этой области спектра. Для реакции III в той же области спектра был получен результат, очень хорошо согласующийся с данными SuperKamio-kande. Этого можно было ожидать, поскольку обе установки проводили измерения при сходных пороговых ограничениях. Поток, определенный по реакции III в SNO, оказался чуть больше, чем для чисто электронных нейтрино в реакции II на той же установке. И наконец, реакция I дала выход, заметно (почти в три раза) превышающий выход событий от реакции II для SNO.

Это и есть самый главный результат эксперимента. Электронные нейтрино в результате осцилляций перешли в другие виды

нейтрино (какие конкретно, говорить пока преждевременно), которые и вызвали дополнительные отсчеты в мишени из тяжелой воды.

Цифры для значений потоков, определенных по данным детектора, выглядят настолько впечатляюще, что их невозможно не привести (все в единицах $10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$).

Реакция I	$5.09 \pm 0.44_{\text{ст}} \pm 0.46_{\text{сист}}$
Реакция II	$1.76 \pm 0.06_{\text{ст}} \pm 0.09_{\text{сист}}$
Теория (B)	$5 \pm 1_{\text{сист}}$

Поток, оцененный по вкладам всех рассеянных на дейтерии нейтрино, находится в хорошем согласии с теоретическим предсказанием для борных нейтрино (строка 3).

Разница потоков по реакциям I и II: $(3.41 \pm 0.45_{\text{ст}} \pm 0.48_{\text{сист}}) \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ недвусмысленно свидетельствует о возникновении потока других нейтрино, избыточного по отношению к электронному, которое есть прямое следствие осцилляций.

Из проведенного эксперимента можно сделать ряд выводов:

- проблема дефицита солнечных нейтрино снимается;
- существование осцилляций для электронных нейтрино доказано (с 1998 г. имелись достаточно серьезные указания, что мюонные нейтрино осциллируют при прохождении сквозь Землю);
- наличие осцилляций определенно указывает на то, что у нейтрино есть масса. ■

Дорогие читатели!

Подписывайтесь на «Природу» в редакции журнала! Это обойдется вам намного дешевле. Цена льготной подписки (в редакции) на I полугодие 2003 г. — 75 руб. за номер или 450 руб. за полугодие. Иногородние могут выслать деньги за подписку почтовым переводом до 10 ноября 2002 г., добавив стоимость пересылки шести бандеролей весом 200 г.

Наш адрес: 119991 Москва ГСП-1, Мароновский пер., 26, «Природа», Александровой Ирине Филипповне (тел. 095-238-24-56).

Почвенные парадоксы

Е.В.Шеин

Все началось в экспедиции, в воронежской черноземной степи. Мы, будучи студентами-почвоведомы, изучали типичные черноземы, закладывая специальные почвенные разрезы или, иначе говоря, аккуратные ямы определенной формы. И всякий раз удивлялись этому творению природы — черноземам: темный, почти черный, гумусовый слой распространялся до дна полуметрового разреза. В нем даже глубже одного метра очень часто наблюдались признаки активной жизни — ходы землероев, заполненные рыхлым почвенным материалом, так называемые кротовины. Как-то раз прошел сильный дождь, настоящий степной ливень. Когда все утихло, вода быстро впиталась в черноземы. Чуть подсохло, и мы снова вышли на работу, заложили новые разрезы. По стенкам ямы проходила волнистая неровная линия смоченного иссиня-черного чернозема, ниже которой располагалась более светлая сухая, неувлажненная почва. Но вот что было удивительным: ходы землероев с рыхлой почвой оказались сухими и выглядели светло-серыми полосками на черном влажном фоне стенки разреза. Почему-то вода не впитывалась в кротови-



Евгений Викторович Шеин, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Член президиума Докучаевского общества почвоведов при РАН, Американского общества по почвоведению, агрономии, плодородию. Область научных интересов — физика почв, термодинамика почвенной влаги, перенос веществ и энергии в ландшафте, пространственная изменчивость почвенных свойств. Автор более 160 публикаций, учебных пособий.

ны, хотя, по моим представлениям, именно в эти трубки с рыхлой почвой она должна была пойти в первую очередь. Получилось же наоборот, дождевая влага активно впиталась в почву в целом, не увлажняя рыхлые ходы.

Эта загадка запала в память. Отгадка пришла через несколько лет, когда я уже освоил некоторые законы физики почв, особенности переноса влаги в почвах. Однажды я ознакомился со статьей профессора Московского университета Е.А.Дмитриева, в которой описывался интересный опыт. В стеклянный ци-

линдр высотой около 60 см и диаметром 40—50 см ставили бумажный рулон. Мелким песком заполняли все пространство вокруг рулона, а внутрь засыпали крупный. Бумажный рулон вынимали, и внутри массы мелкого песка оставался столбик из более крупного песка (рис.1). Естественно, этот столбик в целом был более пористым, чем окружающая его мелкопесчаная масса. Затем Дмитриев выливал воду на поверхность цилиндра в количестве, равном половине его объема (вода должна была проникнуть примерно до середины цилиндра). После того как

вода впиталась, он переворачивал цилиндр, сдувал сухой песок и анализировал образовавшуюся форму нижней части увлажненного песка. Мало того что она была очень неровной — поразительным было то, что вода увлажняла основную массу мелкого песка и очень плохо передвигалась по центральной крупнопесчаной части (рис.1).

Все это было не очень понятно: ведь в центральной части было больше пор (и пор более крупных), именно по ним вода и должна была двигаться в первую очередь. Да и здравый смысл подсказывал, что прежде всего по крупному песку вода должна проникнуть глубоко и совсем незначительно — по мелкому.

И мне вспомнились студенческие наблюдения в воронежских черноземах с сухими ходами землероев на фоне черной влажной почвы. Вероятно, это явление имело те же причины, что и в опытах Дмитриева. Необходимо было разобраться в механизмах этого парадокса, связанного с особенностями движения влаги в сухой почве. В этих условиях вода движется под действием так называемого капиллярно-сорбционного давления, т.е. силы, с которой почва способна «притягивать» влагу к поверхности твердой фазы.

Как известно, поверхность твердой фазы обладает нескомпенсированной энергией. Вода, попадая в почву, понижает свою свободную энергию в соответствии с ее поверхностной энергией. И если давление чистой свободной воды принять равным нулю, то в почве оно станет отрицательным, что проявляется в возникновении менисковых, капиллярно-сорбционных сил. Они и обуславливают передвижение воды в почве — из точки с большим давлением в точку с меньшим. Как тепло переносится из области прогретой в направлении более холодной почвы, так и растворимые вещества переносятся в направлении их меньшей концентрации.

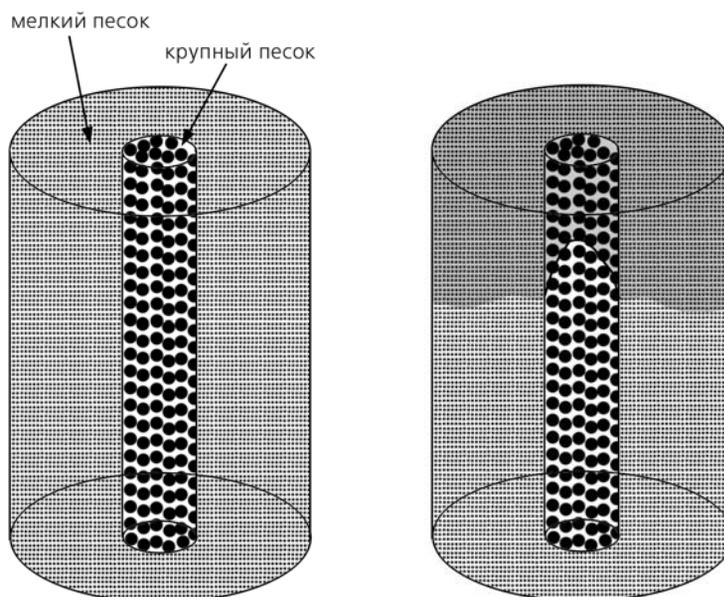


Рис. 1. Опыт Е.А.Дмитриева: цилиндр, заполненный песком различной крупности (слева), увлажнение песка после полива (справа).

Это общезнаменологический закон: перенос веществ и энергии происходит в направлении, противоположном градиенту движущей силы (градиент-то направлен от меньшего значения к большему). В нашем случае движущие силы — градиент давления почвенной влаги. Однако за формирование потока ответственен не только он, а еще и так называемый коэффициент влагопроводности — способность почвы проводить влагу. Этот коэффициент не постоянен для каждой почвы, а зависит от давления влаги в почве. Он служит характеристикой не только вещественного состава и сложения почвы, но и ее насыщенности влагой, т.е. давления влаги. Причем такая зависимость довольно сложная, нелинейная. Для крупного и мелкого песка — это две различные по форме зависимости (рис.2). Именно они и определяли отмеченный почвенный парадокс.

Действительно, в ходе движения воды градиенты давления между влажной и сухой частью песчаной толщи были приблизительно одинаковы

и для крупного и для мелкого песка. Впитывание влаги определялось в первую очередь коэффициентом влагопроводности, т.е. способностью песка проводить поток. В сухой почве, в области более высокого давления влаги (с учетом знака, ведь давление — величина отрицательная), проводимость мелкого песка выше, чем крупного. При одном и том же давлении коэффициент влагопроводности для мелкого песка был выше, чем для крупного в несколько раз (а иногда — и на порядки!). Значит, и нисходящий поток влаги в мелком песке был в несколько раз больше. Получается, что вода быстрее увлажняла мелкий песок, медленно передвигаясь вниз по крупному. Таким образом, зависимость проводимости от давления влаги и вызвала эффект, который наблюдал Дмитриев (рис.1). Эта зависимость для мелкого и крупного песка в основном идентична таковой для плотной и рыхлой почвы. Следовательно, для сухих почв влагопроводность уплотненных участков выше, чем разрыхлен-

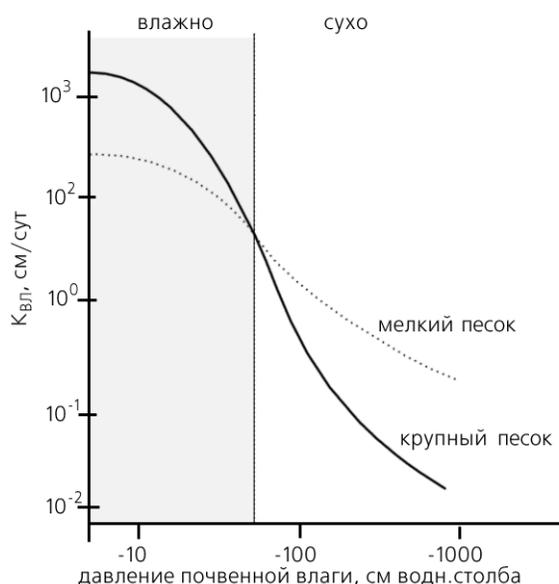


Рис.2. Зависимость коэффициента влагопроводности от давления почвенной влаги для крупного и мелкого песка.

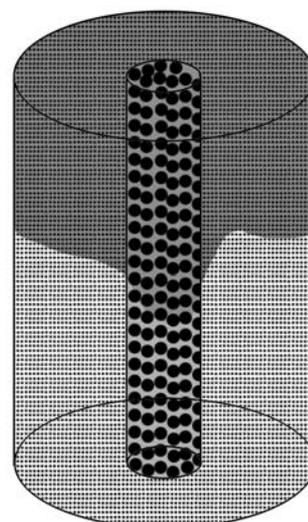


Рис.3. Предполагаемое увлажнение предварительно смоченного песка.

ных. Именно вследствие этих особенностей и возникал отмеченный в черноземах парадокс, когда разрыхленные кротовины оставались сухими после дождя, а более плотная почва увлажнялась.

Предположим, что в своих опытах Дмитриев взял не сухой песок, а предварительно увлажненный. Тогда проводимость крупного песка была бы выше, чем мелкого, поскольку в области высоких (с учетом знака) давлений, в увлажненных песках, влагопроводность крупного песка выше, чем мелкого. В результате опытов с влажными песками итоговая картина увлажнения выглядела бы иначе. Основная масса воды двигалась бы по крупному песку в центральной части цилиндра, медленнее насыщая мелкий (рис.3).

Таким образом, специфическая зависимость влагопроводности почвы от давления воды для различных природных объектов нередко приводит к специфическим почвенным эффектам, которые весьма трудно предсказать и объяснить, не зная закономерностей переноса влаги в ненасыщенных почвах. Эффекты эти

имеют не только познавательное, но и важное практическое значение, например, при различных способах полива.

Один из самых прогрессивных способов орошения — капельный. Он состоит в том, что непосредственно к стволу растения у основания подводится тоненькая трубочка, из которой очень медленно, по каплям, вода поступает в почву (рис.4, слева). Растекаясь, вода образует смоченный контур, по форме напоминающий луковицу, которую часто называют влажностной луковицей. По идее изобретателей капельного орошения, она близка к форме корневой системы поливаемого растения. Вода никуда, кроме корней растений, не растекается, на поверхности почва остается все время сухой, за исключением небольшого влажного пятнышка под капельницей, т.е. вода попадает точно к растению.

Капельное орошение весьма экономично: вода расходуется только на транспирацию растений, не утекает в глубокие слои почвы и почти не испаряется с ее поверхности. Этот способ можно использовать в районах,

где пресной воды очень мало, а теплый климат позволяет выращивать уникальные растения (например, в Узбекистане, Израиле, Калифорнии и многих других пустынных и полупустынных районах). Второе преимущество капельного орошения — экологическая безопасность, при таком поливе не возникает вторичного засоления. Это крайне нежелательное явление происходит тогда, когда избыток воды попадает в глубинные слои, за счет чего грунтовые воды начинают подниматься к поверхности. В засушливых районах они, как правило, содержат немалое количество солей. При испарении соленых вод и происходит засоление почвы, на которой культурные растения не растут.

От вторичного засоления погибли целые цивилизации, например, государства Междуречья. Именно там впервые люди научились выращивать культурные растения при орошении. Но из-за избытка оросительных вод, попавших в грунтовые, плодородные почвы становились бесплодными солончаками: поля и сады превращались в пустыни,

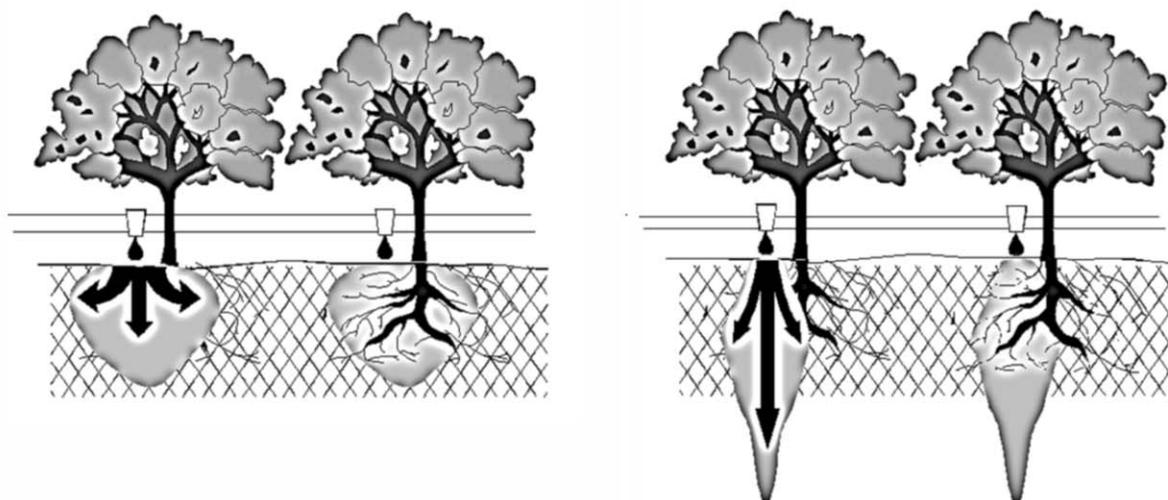


Рис.4. Контуры увлажнения после полива капельным способом: при влажной (слева) и сухой (справа) почве в междурядьях деревьев. Толщина и длина стрелок соответствует интенсивности водных потоков.

разрушались поселения, и люди покидали эти места. При капельном способе полива такого происходить не должно, поскольку вода из корневой зоны растений никуда не уходит. Прекрасная идея, однако не до конца учитывающая специфику передвижения влаги в ненасыщенной почве, связанную именно с зависимостью коэффициента влагопроводности от давления влаги.

Инженеры-мелиораторы, разработавшие капельное орошение, исходили из того, что перед поливом почва равномерно иссушена. Тогда действительно возникает влажностная луковица (рис.4, слева). Но при таком способе полива растения, в частности древесные или кустарниковые, располагаются рядами. Междурядья же не орошаются — они либо зарастают травой, либо постоянно вспахиваются (благо, поверхность почвы сухая и пропахивать ее можно все время). При этом в междурядьях

почва постепенно иссушается, и ее слои становятся суше, чем в рядах орошаемых растений. А чем суше почва, тем меньше ее влагопроводность, тем меньше поток влаги в сторону междурядья. Как ни парадоксально, влага не течет в сторону сухих участков междурядья, а интенсивно перетекает под рядами растений, именно в глубинные слои почвы (рис.4, справа). И в конце вегетационного сезона вместо «влажностной луковицы» формируется неэффективный и экологически опасный контур, когда вода почти не уходит в стороны, а преимущественно течет вниз, за пределы корневой системы, а возможно, и в грунтовые воды.

Такие неэффективные и опасные с точки зрения вторичного засоления потери воды можно предвидеть, если учитывать специфику переноса влаги в ненасыщенных почвах. Сейчас это уже делают весьма квалифици-

рованно. Математические модели переноса влаги позволяют рассчитывать контур увлажнения для различных почв и, следовательно, подбирать оптимальные решения по поливу так, чтобы влага поступала только для нужд растения, но ни в коем случае — в глубинные слои. В основе этих моделей лежат физические закономерности движения влаги в почве, которые первоначально выглядят загадочными парадоксами (почему вода не течет в сухую почву, а течет только по влажной? Почему вода не проникает в рыхлые кротовины, которые она, казалось бы, и должна в первую очередь увлажнять?), а по сути оказываются специфическим отражением общеприродных законов переноса веществ. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-04-48066.

Влияние штормовых вибраций на землетрясения

В.Н. Табулевич,

кандидат физико-математических наук

Е.Н. Черных,

кандидат геолого-минералогических наук

В.А. Потапов,

доктор геолого-минералогических наук

Н.Н. Дреннова

Институт земной коры СО РАН

Иркутск

*И в небе и в Земле есть многое
такое, о чем не снилось вашей
мудрости, Горацио.*

У. Шекспир

Толчая, бегущие волны и микросейсмы

Поверхность мирового океана составляет 70.8% от всей площади земной сферы. Над океанами зарождаются катастрофические циклоны и тайфуны, в которых воздушные массы вращаются с ураганной скоростью. Круговое движение происходит относительно некоторого центра, называемого глазом бури. Такой «волчок», кроме вращательного, имеет еще и поступательное движение с причудливыми, трудно предсказуемыми траекториями. Обрушиваясь на берег со скоростью до 100 м/с, он сметает все на своем пути. В переменном ветровом поле циклона (тайфуна) и его движении над акваториями возникают стоячие водяные волны — толчая. Такие волны в открытом океане мало изучены: они недоступны непосредственным наблюдениям и измерениям. Имеются лишь редкие сообщения капитанов кораблей, оказавшихся случайно в центре циклона, в области толчеи. Робин Нокс Джонстон, например, огибая мыс Доброй Надежды во время кругосветной гонки на яхте, записал: «...наступил вечер 5 сентября. Днем ветер изменил направление и задул с запада,

быстро развивая крупное волнение, которое столкнулось с зыбью прежнего ветра. Это вызвало толчею, и теперь волны шли со всех направлений. Яхта прыгала среди толчеи как взбесившийся жеребец» [1].

Область стоячих водяных волн (СВВ) генерирует периодически изменяющееся давление на дно океана, не затухающее с глубиной [2, 3]. Под влиянием этого давления в земной коре возникают слабые колебания — так называемые штормовые микросейсмы. Толчая образуется при столкновении двух противоположно направленных систем бегущих волн или взаимодействии встречного ветра с волнами зыби (рис. 1). Область стоячих водяных волн, располагающаяся в тыловой части циклона (тайфуна), составляет сотни квадратных километров. Такие колебания могут быть уподоблены поршню, совершающему возвратно-поступательные движения. Поднимаясь вверх, они образуют микробаромы, вниз — микросейсмы на дне. Колебания, вызванные стоячими волнами, когерентны (синфазны). Этот комплекс явлений экспериментально подтвержден и подробно описан в работах сотрудников Ламонтской геофизической обсерватории и др. [4, 5].

Микросейсмы, вызванные стоячими водяными волнами движущихся циклонов, распространяются на большие расстояния. Их записывают все сейсмические станции мира, работающие в непрерывном режиме ожидания землетрясений. Например, микросейсмы от атлантических циклонов фиксируют не только станции, расположенные на европейском континенте, но и азиатские (в Ташкенте и Ашхабаде), сибирские (в Иркутске и Новосибирске) и многие другие. В противоположность редко возникающим стоячим волнам под действием однонаправленного ветра всегда существуют бегущие волны. Тур Хейердал на своем плоту «Кон-Тики» смог пересечь Тихий океан благодаря устойчивому ветру, дующему главным образом с востока на запад, и бегущим волнам, подгонявшим плот. Но подобные волны, возникающие от однонаправленного ветра, не обладают свойством «накачивать» переменное давление на дно океана. Даже их удары о берег (прибой), создавая некогерентные (не синфазные) колебания земли, быстро затухают с расстоянием [4, 5]. Слабые микросейсмы от бегущих волн возникают локально. Их можно обнаружить на небольших (несколько десятков километров) расстояниях от берега.

Энергия землетрясений и штормовые вибрации

Благодаря систематическим наблюдениям глобальных штормовых микросейсм, выполненным сетью из 65 сейсмических станций бывшего СССР, появилась возможность сопоставить действие вибрации (микросейсм) и энергию землетрясений.

Оценивая энергию (E) и мощность (W) микросейсмических колебаний, переданные земной коре, и энергию слабых землетрясений, мы обнаружили, что эти величины имеют один и тот же порядок. Мощность микросейсм в максимальной фазе шторма на океанах достигает 10^{10} – 10^{11} Дж/с, на малых водоемах типа оз. Байкал — 10^7 – 10^9 Дж/с. Если учесть длительность (t) действующих процессов, то их энергия $E = W \int_0^t dt$ для малых водоемов будет примерно 10^8 – 10^{11} Дж, а для океанов — 10^{11} – 10^{13} Дж. Она соизмерима с энергией землетрясений классов 8–13, равной 10^8 – 10^{13} Дж, т.е. по порядку величин равна энергии микросейсм [6]. В сейсмологии силу действия землетрясений принято характеризовать двумя величинами: классом энергии (K) и величиной магнитуды (M). $M = 0.56K - 2.22$ [6]. Классы землетрясений 8–13 соответствуют магнитудам 2.3–5.1.

Неоднократно высказывалась мысль, что, поскольку землетрясения вызваны внезапным сбросом постепенно накапливающихся механических напряжений в земной коре, должна существовать возможность искусственно «потрясти» конкретный участок при помощи некоего вибратора, чтобы снять эти напряжения, пока они не стали причиной катастрофических явлений. Посмотрим, существуют ли в природе такие механизмы?

Мы изучали влияние вибраций от штормов на сейсмичность в двух различных регионах — в районе Курильской гряды и на оз. Байкал.

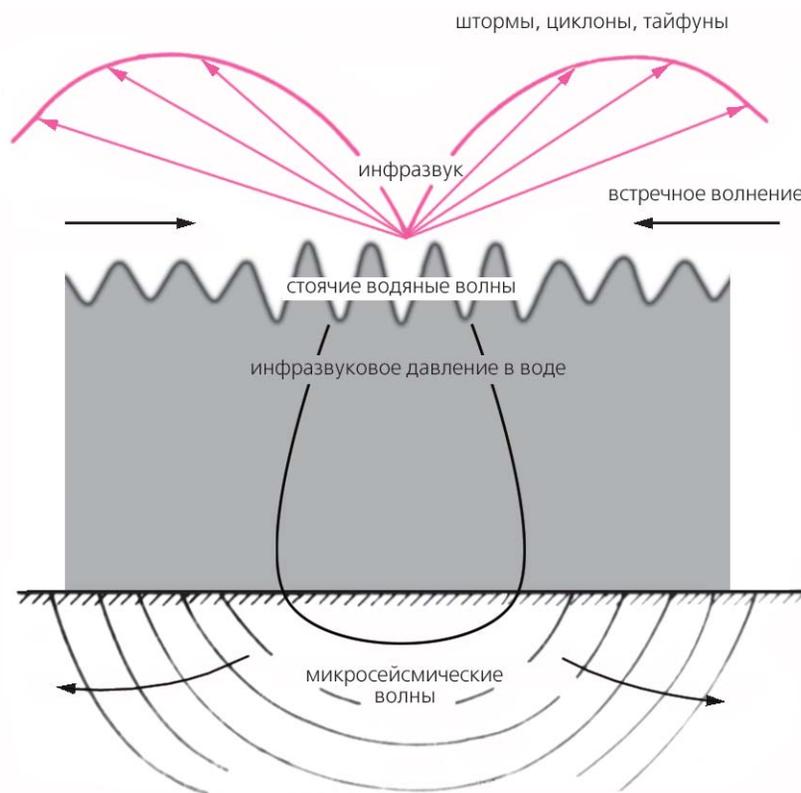


Рис. 1. Комплекс явлений, возникающий от стоячих водяных волн, в атмосфере и гидросфере и земной коре.

В северо-западной области Тихого океана перемещаются многочисленные циклоны и тайфуны. Одни из них, формируясь на далекой Атлантике, движутся от континента на восток, другие, образуясь в южных широтах Северного полушария, описывают замысловатые траектории над Китайским, Японским и Охотским морями, а затем смещаются на северо-восток, в Тихий океан. Таким образом, на дно акватории в районе Курильских о-вов действуют интенсивные вибрации от циклонов и тайфунов. С 1968 по 1982 г. мы наблюдали за штормами и проявившимися землетрясениями с $K \geq 9$ ($M \geq 2.8$) южнее Камчатского п-ова и землетрясениями с эпицентрами под океаном, граничащими с Северной Японией (рис.2).

Штормы и их локация [4, 5] оценивались по данным тихоокеанских сейсмических стан-

ций. Для получения обобщенной оценки интенсивности штормов микросейсм индексировались по двоичному коду [4]. Суммирование классификационных признаков дало возможность получить усредненную величину штормовых вибраций за каждый месяц. На рис.3 показана интенсивность штормов (ΣI) и число землетрясений (ΣN) классов $9 \leq K < 11$ ($2.8 \leq M < 3.9$), возникших за 1974–1975 гг. В наиболее тихие зимние месяцы количество землетрясений максимально. Рассматривая весь энергетический диапазон землетрясений от 9 до 16 класса (M = от 2.8 до 6.7) и сравнивая их количество с прошедшими над акваторией циклонами, можно заметить, что наибольшее влияние штормы оказывают на относительно слабые процессы ($9 \leq K < 11$ и $2.8 \leq M < 3.9$) на глубинах менее 30 км. Количество землетрясений с 9 по

11 класс ($2.8 < M \leq 3.9$) достигает максимума в тихие месяцы, когда штормы минимальны (рис.4). Для глубины менее 20 км коэффициент корреляции между ΣI и ΣN $r_1 = -0.7$, для глубины от 20 до 30 км $r_2 = -0.61$. Если рассмотреть землетрясения средних и высоких энергий ($13 < K \leq 16$ и $5.1 < M \leq 6.7$) на участках 1—6 (рис.2), видно, что в толще земной коры под океаном их значительно меньше, чем на глубинах 30—200 км. Океанические волны, имея широкий спектр частот, создают интенсивные вибрации в верхних горизонтах земной коры и, по-видимому, уменьшают проявление сейсмичности. Энергия микросейсм, переданная дну океана, соизмерима с энергией слабых ($K \leq 12$) землетрясений.

Байкал, находящийся в сейсмически активной зоне, может служить идеальной естественной моделью для выявления

действия штормовых вибраций на возникновение землетрясений. Озеро, расположенное в центре азиатского континента, казалось бы, не должно подвергаться действию разрушительных ветров, подобных действующим в океанских циклонах и тайфунах. Однако и здесь возникают условия, когда скорость ветра достигает 30—50 м/с. Представим себе, что спокойный атлантический циклон, потеряв свою мощь при движении по лесам континента, перемещается с запада на восток (подобные циклоны нам демонстрируют каждый день по телевидению на картах гидрометеослужбы), на своем пути он встречает препятствия, которые нельзя обойти. Например, циклон спускается вдоль Главного Кавказского хребта и выходит на Каспийское море. Здесь в нем проявляются свирепые свойства тайфуна. Ветер со скоростью

более 30 м/с валит с ног людей, срывает с домов крыши и, наконец, падает своей тыловой частью на Каспийское море [8], образуя стоячие волны и микросейсмы.

Подобная картина наблюдается и на Байкале, окаймленном горными хребтами со снеговыми вершинами. Следуя своим путем, атлантический циклон встречает на своем пути препятствие из горных возвышенностей и, пересекая их, обрушивается своими воздушными массами на Байкал. Циклон, падая своей тыловой частью на акваторию, встречает волны зыби. Здесь начинают возникать и развиваться стоячие водяные волны, создаются вибрации дна — микросейсмы. Их записывает сеть сейсмических станций, окружающая озеро (рис.5). Однако в тихие зимние месяцы вся поверхность озера покрыта метровым льдом,

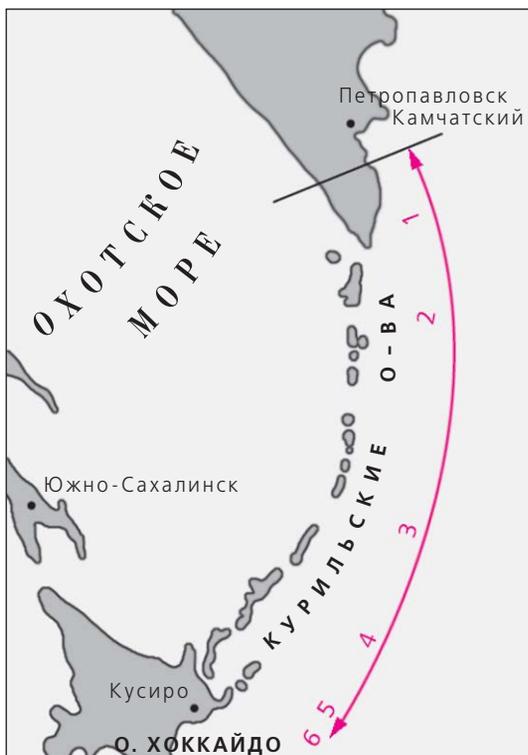


Рис.2. Районы наблюдений (1—6) за штормами (микросейсмами) и землетрясениями.

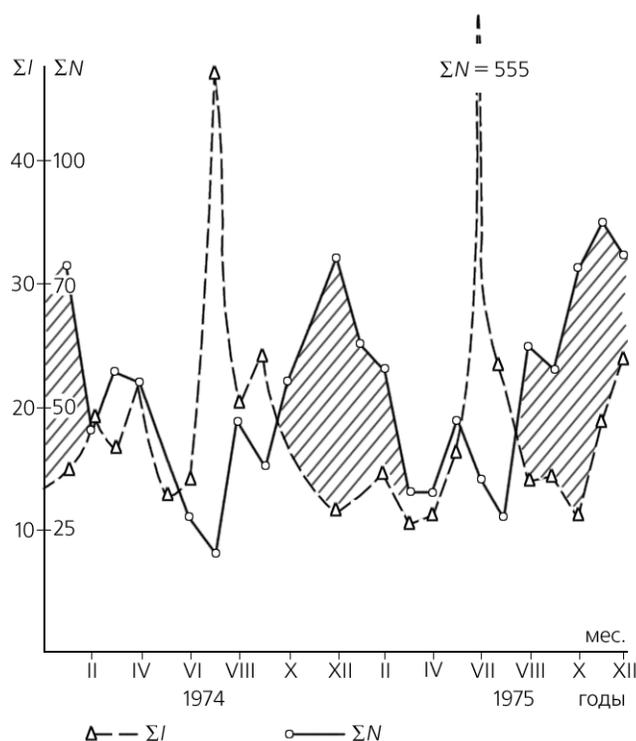


Рис.3. Зависимость количества землетрясений (ΣN) малых энергий ($K = 9-11$) за 1974—1975 гг. от интенсивности штормов (ΣI).

и штормовые микросейсмы не могут возникнуть ($\Sigma I = 0$). Контрастную картину представляет собой осеннее время, когда на озере развиваются мощные штормовые процессы и проявляются максимальные вибрации. С гор падают ветры со скоростями свыше 35 м/с. При пересечении циклонами акватории Байкала происходит взаимодействие многометровых волн зыби со встречным горным ветром. Создаются условия возникновения стоячих водяных волн и микросейсм земной коры. В периоды «тишины» количество землетрясений ($8 \leq K < 14$ и $2.3 \leq M < 5.6$), проявившихся в каждый месяц (среднее арифметическое за девять лет), в 2.5 раза больше, чем в штормовую погоду. Коэффициент корреляции между ΣN и ΣI равен 0.77.

Мы показали, что вибрации, действующие на дно озера, сокращают количество землетрясений с гипоцентрами, лежащими непосредственно под акваторией. Будет ли подобный вибратор уменьшать сейсмичность на некотором расстоянии от центра приложения вертикальных сил, вызванных стоячими водяными волнами? Наши наблюдения в береговой зоне Байкала [9] на различных расстояниях от естественного вибратора (байкальских волн) мы ограничили коридорами, окаймляющими озеро по периметру 0–10 км (I), 10–20 км (II) и 20–50 км (III). Сравнение количества землетрясений проводилось между тихим зимним временем и бурными осенними штормовыми месяцами. Обозначим через n отношение числа землетрясений во время «тишины» (ΣN_T) к числу землетрясений, произошедших во время штормов (ΣN_M):

$$n = \frac{\Sigma N_T}{\Sigma N_M}$$

Получается, что для землетрясений с 6 по 9 класс для I, II и III коридоров $n = 1.8, 1.3, 2.7$

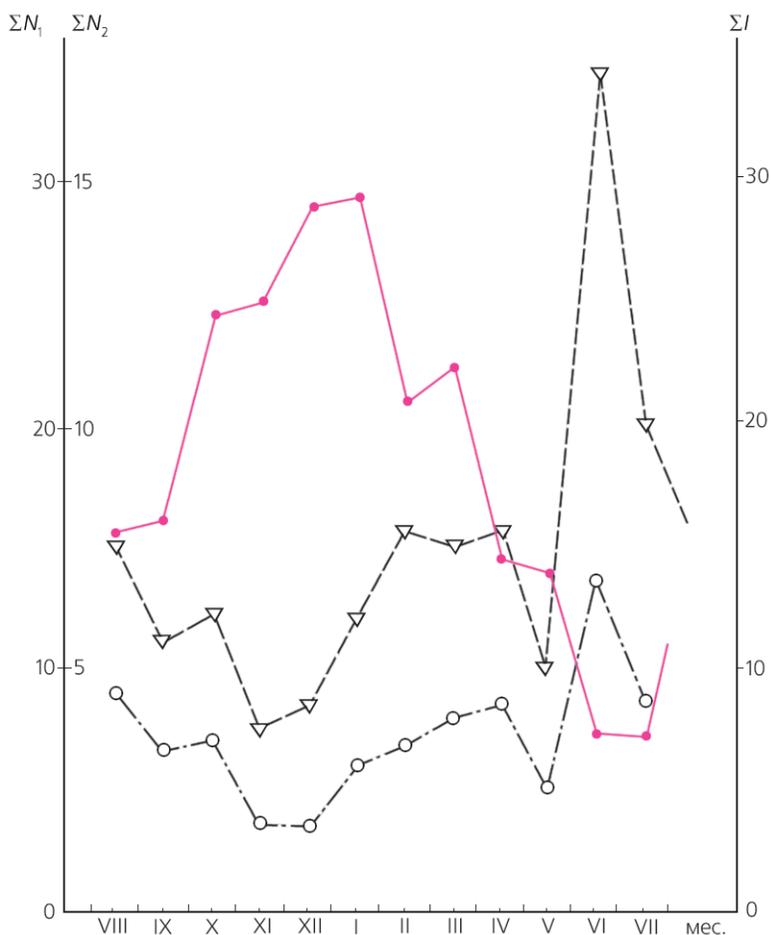


Рис. 4. Средняя интенсивность штормовых микросейсм (ΣI) и количество землетрясений (ΣN) малых энергий ($9 \leq K \leq 11$), по данным за 1968–1982 гг. ∇ — ΣN_1 для глубины $h \leq 20$ км; \circ — ΣN_2 для $20 < h \leq 30$ км. ΣI — показано цветной линией.



Рис. 5. Места расположения сейсмических станций на оз. Байкал.

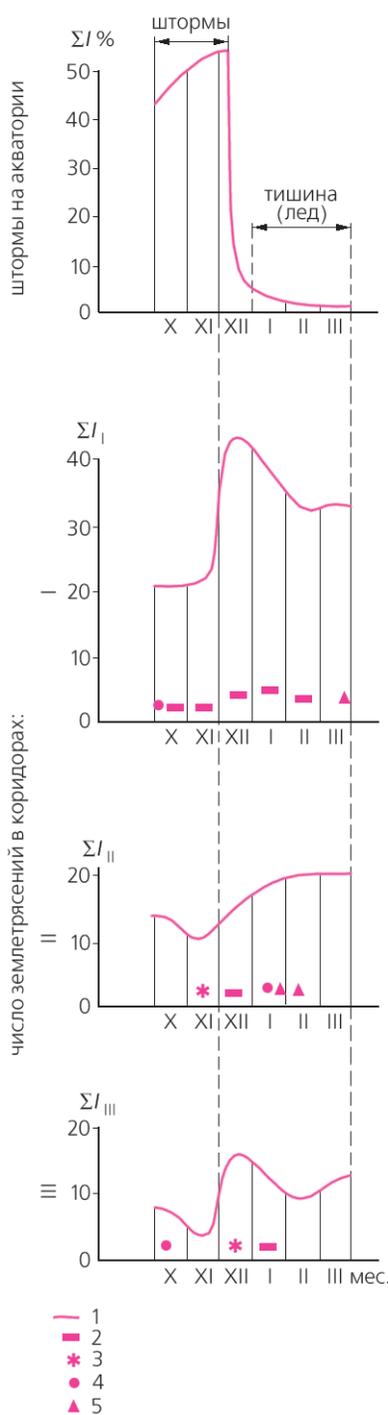


Рис. 6. Штормы на Байкале и проявление землетрясений в береговых коридорах (I, II и III). ΣI — количество штормов одного месяца, ΣN — количество землетрясений различных энергетических классов за 1983—1988 гг. 1 — $6 \leq K \leq 9$; 2 — $9 < K \leq 9.5$; 3 — $9.5 < K \leq 10$; 4 — $10 < K \leq 11$; 5 — $11 < K \leq 13$.

соответственно, а для 9 и 10 класса — 4, 3 и 2. В береговой зоне в тихое время сейсмичность увеличивается в среднем в 2.4 раза по сравнению со штормовым периодом (рис.6).

Радиус действия вибраций зависит от мощности (W), энергии вибратора (E), спектрально-го состава колебаний и их затухания. Для фиксированных значений штормов на Байкале при $W = 10^7$ Дж/с, $E = 10^8$ Дж и периодов микросейсм в 2—3.5 с радиус действия вибрации равен 10—30 км для I и 30—80 км для II и III коридоров. Действие вибраций дает наибольший результат под дном акватории и уменьшается по мере удаления от источников колебаний.

* * *

Итак, мы получили независимые подтверждения влияния вибраций на сейсмичность для двух различных регионов: оз.Байкал и северо-западной области Тихого океана, восточнее Курильских о-вов. Из полученных результатов наиболее очевидным можно считать уменьшение числа землетрясений $K < 13$ под действием штормов. Эффект снятия сейсмичности определенного класса действовал всегда. Как объяснить это явление? Мы высказали предположение, что имеет место эффект «утряски» дисперсной среды, наподобие того, как объем сыпучего матери-

ала уменьшается под влиянием слабого постукивания. Г.А.Соболев предложил теорию лавинного образования трещин, согласно которой первоначально образующиеся малые трещины постепенно перерастают в большие магистральные — первопричины землетрясений [10]. Вибрации, способствуя заполнению малых объемов, тем самым затрудняют возникновение магистральных трещин и соответственно землетрясений средних энергетических классов ($K < 13$). Мы полагаем, что при снятии напряжений возможно действие обоих механизмов.

Можно ли искусственно вызвать вибрации для предотвращения землетрясений среднего класса? Снятие напряжений в земной коре под действием вибраций могло бы принести в дальнейшем новые данные для расчета антропогенного влияния периодических колебаний на тектонически активные сейсмические очаги. Нам кажется, что описанные в настоящей статье явления — первый шаг к решению этих вопросов.

Конечно, приведенные здесь закономерности не представляют собой средство борьбы с катастрофическими землетрясениями, но показывают природу их «слабого фланга» и поэтому могут быть полезны в теории прогноза и предотвращения землетрясений. ■

Литература

1. Bonington P. Quest for Adventure. N.Y., 1990.
2. Longuet-Higgins M.S. // Trans. Phil. Roy. Soc. 1950. V.243A. P.35.
3. Табулевич В.Н., Пономарев Е.А., Сорокин А.Г., Дреннова Н.Н. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2001. №2. С.235—244.
4. Табулевич В.Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний. Новосибирск, 1986.
5. Tabulevich V.N. Microseismic and Infrasound Waves. Heidelberg, 1992.
6. Потапов В.А., Табулевич В.Н., Черных Е.Н. // Геология и геофизика. 1997. Т.38. №8. С.1411—1419.
7. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М., 1985.
8. Табулевич В.Н. // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1963. №11. С.1667—1675.
9. Табулевич В.Н., Дреннова Н.Н., Потапов В.А., Черных Е.Н. // Геология и геофизика. 2001. Т.42. №8. С.1271—1278.
10. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М., 1993.



Полезные и опасные остаточные напряжения

Г.Н.Чернышев, А.Л.Попов, В.М.Козинцев

*Ut tensio sic vis**.

Роберт Гук

Пожалуй, не найти человека, не использующего в своем лексиконе термин «напряжения», подразумевая под ним самые разнообразные психо-физико-биологические проявления. Здесь мы ограничимся рассказом лишь об одном, но достаточно важном виде напряжений из области механики: остаточных, или предварительных, напряжениях. Эти напряжения могут быть одной из главных причин техногенных аварий и разрушений надежных на первый взгляд конструкций в технике и в быту, и тем не менее ни один стандарт не устанавливает предельно допустимых значений для таких напряжений. Не существует и нормативных документов по учету остаточных напряжений при проектных прочностных расчетах конструкций.

Предварительными, или остаточными, обычно называют напряжения, существующие в конструкции или природном теле при отсутствии внешних силовых, тепловых и других воздействий. Называют их также собственными, внутренними, технологическими напряжениями. В технике для обозначения остаточных напряжений используют названия процессов, приводящих к их образова-



Герман Николаевич Чернышев, доктор физико-математических наук, профессор, руководитель лаборатории упругих тел Института проблем механики РАН. Область научных интересов — акустика, упругие свойства твердых тел.



Александр Леонидович Попов, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник той же лаборатории. Специалист в области акустики, теории прочности.



Виктор Михайлович Козинцев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Занимается исследованием остаточных напряжений и разработкой средств измерений.

© Г.Н.Чернышев, А.Л.Попов, В.М.Козинцев

* Каково растяжение, такова и сила.

нию: сварочные напряжения, закалочные напряжения и т.д. Такое разнообразие в названиях не вредит существу дела, а иногда даже лучше характеризует сущность рассматриваемого явления.

Предварительные напряжения играют значительную роль в природе и технике. Человек издавна научился пользоваться их полезными свойствами. Примером может служить бочка из деревянных досок, стянутая обручами. Созданные бондарем предварительные натяжения в обручах удерживают ее в рабочем состоянии. Освободи обручи от предварительных напряжений — и бочка потеряет свои функциональные свойства.

Остаточные напряжения важны в струнах музыкальных инструментов, тетиве спортивного лука, спицах велосипедных колес, болтах и гайках, которыми притягиваются крышки к резервуарам с высоким давлением, в длиннопролетных мостах, закаленных стеклах транспортных средств, строительных конструкциях и т.д. Они практически всегда возникают в процессах литья,ковки, прокатки, сварки, термообработки и др., а также при жестком соединении разных материалов. Остаточные напряжения есть в керамике, стекле и полимерах, в изделиях электронной промышленности, энергетического и транспортного машиностроения. Умелое применение внутреннего напряженного состояния в материалах и конструкциях может дать большие выгоды их создателям.

В природе также немало примеров предварительных напряжений: они обеспечивают деревьям устойчивость к ветровым нагрузкам, «законсервированы» в костях людей и животных, в коре деревьев и плодов и т.д. Благодаря эволюции внутреннего напряженного состояния, конструкции растений и организмов животных близки к совершенным. Разгрузи организмы животных от внутрен-

них напряжений мышц, сосудов — и они перестанут функционировать.

К сожалению, отрицательную роль остаточные напряжения играют чаще, чем хотелось бы. В технике достаточно примеров разрушений, вызванных большими технологическими напряжениями. Одни из наиболее частых со значительными экологическими последствиями — это разрушения трубопроводов, в которых образуются трещины длиной иногда до нескольких десятков километров. Внезапные разрушения строительных конструкций, появления и развитие трещин на лобовых стеклах автомобилей, дорогостоящих заготовках крупногабаритных зеркал телескопов, хрустальной посуде, саморазрушение огнеупорных блоков для стенок стекловаренных печей, лежащих в спокойном состоянии на складе... Многие из нас могли бы продолжить этот перечень. В сущности такие дорогостоящие разрушения и порочили научное направление по изучению остаточных технологических напряжений и способов их регулирования.

Способы измерений остаточных напряжений

Разработка методов измерения остаточных напряжений в настоящее время является насущной и актуальной задачей. Именно из-за отсутствия удобных и быстрых способов измерений решение проблемы остаточных напряжений отстает от аналогичной — для напряженных состояний под действием активных нагрузок. Однако в последние десятилетия в результате усилий ученых России, Украины, США, Германии, Англии, Венгрии и других стран положение с измерительными методами и средствами существенно улучшилось и началось активное экспериментальное изучение таких напряженных

состояний. Но многое еще не сделано: для получения общих выводов о влиянии остаточных напряжений на прочность конструкций предстоит исследовать напряжения в очень большом объеме материалов и изделий. Необходимо аттестовать технологические операции по тому напряженному состоянию, какое они вносят в готовое изделие, уметь оценивать значение этого состояния и находить способы управления технологическими процессами и вызываемыми ими напряжениями для улучшения качества изделий и надежности их работы.

В научной литературе имеется богатейший научный багаж, посвященный исследованиям всевозможных напряженно-деформированных состояний твердых тел, созданных приложенными к ним нагрузками, температурными полями, взаимодействиями с другими телами и т.д. Чем же проблема предварительных напряженных состояний отличается от проблемы обычных напряжений? Почему ее нужно выделять как особую? Ответ на эти вопросы дает сама жизнь. Разработчики умеют хорошо рассчитывать конструкцию на прочность. Однако при расследовании причин некоторых аварий приходится сталкиваться с такой ситуацией: при измерении остаточных напряжений обнаруживается, что эти напряжения достаточно велики, а в документах на разрушившееся изделие утверждается, что в данном месте напряжений нет. Технологические процессы изготовления создали в изделии значительные предварительные напряжения, о которых никто не подозревал. И подобные ситуации на практике весьма нередки. Ясно, что необходимы рабочие методы, которые позволяли бы определять такие напряжения в телах после всех процессов изготовления, чтобы снизить вероятность аварий.

В монографии [1] подробно изложен разработанный и при-

меняемый авторами голографический метод измерения напряжений. Почему был выбран именно этот метод измерений? В начале 1970-х годов академик А.Ю.Ишлинский предложил коллективу ученых, в который входили и авторы, заняться исследованиями предварительных напряжений в сварных соединениях. В это время уже существовало достаточно много методов измерения таких напряжений, описание которых можно найти в уже ставшей классической монографии И.А.Биргера [2] и в более поздних публикациях. Наиболее распространенным для определения предварительных напряжений являлся (да и сейчас является) тензометрический метод в сочетании с методом отверстий. Он состоит в следующем: в некоторых точках окрестности специально созданного отверстия тензодатчиками измеряют деформации возмущенного напряженно-деформированного состояния и по этим измерениям по специальной методике восстанавливают остаточные напряжения, существовавшие в этих точках до создания отверстия.

Можно было бы взять за основу данный метод измерения. Однако тщательное изучение его показало, что проводить эффективные исследования в этом случае будет сложно, так как осуществить в полном объеме необходимые многочисленные измерения вряд ли удастся. Все-таки метод достаточно дорогой и требует много времени на проведение каждого измерения.

Хороши, в идеале, неразрушающие, так называемые физические методы измерения: рентгеновский, акустический, магнитошумовой и др. [3, 4]. Но оказалось, что область применения этих методов довольно сильно ограничена. Например, рентгеновский метод непригоден для закаленного стекла, а магнитошумовой — для нержавеющей стали, алюминиевых сплавов и других немагнитных материалов.

Таким образом, после анализа различных методов измерения авторы пришли к заключению, что способ выявления предварительных напряжений маленькими несквозными отверстиями (зондирующими лунками) вполне приемлем, а метод измерения параметров возмущенного напряженно-деформированного состояния следует усовершенствовать. В те годы бурно развивалась голография и голографические способы измерения. Было решено взять за основу голографическую интерферометрию: с ее помощью возможно измерять малые, порядка 0.1—5 мкм, перемещения в зоне отверстий и по результатам измерений восстанавливать предварительные напряжения. За более чем 20-летнюю исследовательскую работу авторы убедились, что выбор был правильный.

Голографическая интерферометрия

Интерференция наблюдается при сложении двух волн, когда при условии их когерентности, т.е. постоянной разности фаз этих волн, возникает харак-

терное пространственное распределение интенсивности света — интерференционная картина. Фотопластинка-детектор регистрирует это в виде чередующихся светлых и темных полос, или интерферограммы.

Для определения остаточных напряжений применялась и обычная интерферометрия, но эту работу можно было провести только в хорошо оборудованной лаборатории: требовалась специальная подготовка поверхности исследуемого объекта, придание ей правильной формы, специальное освещение и оборудование.

Когда создали лазер, т.е. источник излучения с высокой пространственной и временной когерентностью, стала развиваться оптическая голография — способ записи и восстановления световых волн, рассеянных объектом и несущих информацию о его форме (т.е. трехмерного образа объекта). Некоторые методики интерферометрии сильно упростились, так как снялись проблемы освещения и подготовки поверхности.

Принципиальная оптическая схема для записи голограммы по Лейту—Упатниексу [5] показана

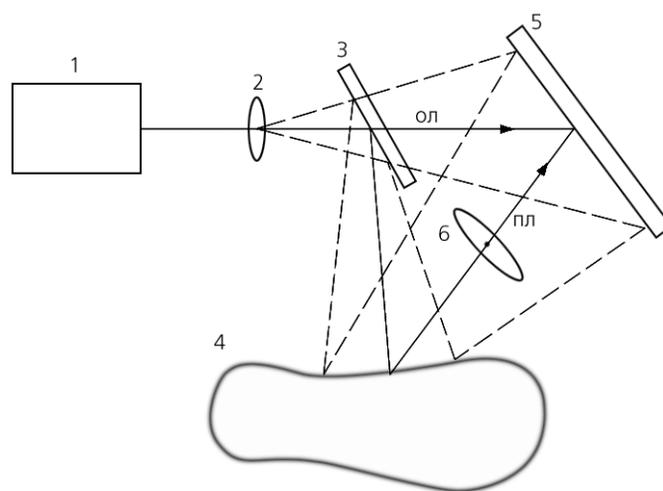


Рис. 1. Принципиальная схема записи голограммы Лейта—Упатниекса: 1 — лазер, 2 — линза, 3 — полупрозрачное зеркало, 4 — объект, 5 — фотопластинка-детектор, 6 — линза в режиме лупы, ОЛ — опорный луч, ПЛ — предметный луч.

на рис.1. Луч лазера (1) расширяется линзой (2) и делится полупрозрачным зеркалом (3) на две части. Одна часть — это опорный луч (ОЛ) — проходит через зеркало и сразу падает на фотопластинку-детектор (5). Вторая часть, отраженная от зеркала, освещает объект (4) и, диффузно рассеянная им, проходит через линзу (6) и тоже падает на детектор. Это предметный луч (ПЛ).

Заметим, что наличие линзы (6) не принципиально для записи голограмм, однако необходимо для измерения остаточных напряжений. Линза находится на фокусном расстоянии от объекта и поэтому работает в режиме лупы: на фотопластинке записывается не весь образ объекта, а малая, но увеличенная в 2—5 раз, его часть — область поверхности с отверстием. Это помогает рассмотреть довольно плотно расположенные (особенно на кромке отверстия) полосы интерферограммы.

С развитием голографии возникла голографическая интерферометрия, выполняемая гораздо проще, чем обычная, с меньшими затратами и ограничениями. Ее сущность такова: если совместить две голограммы объекта, записанные в разное время при разных состояниях поверхности объекта (один из способов — записать на одну фотопластинку), то при освещении этой фотопластинки лазерным лучом возникает результирующая интерферограмма, отражающая разницу геометрических состояний объекта. Линии интерферограммы показывают как перемещения целого объекта, так и деформацию его поверхности. Общие и локальные перемещения обычно хорошо разделяются.

Голография позволила исследовать объекты с любым, самым замысловатым рельефом. Подготовка поверхности стала минимальной. Главное — ее микрорельеф не должен измениться за время исследования. Другими словами: очистить, про-

мыть и не загрязнить — требования на бытовом уровне.

Осталось несколько важных условий: интерферометрическую установку надо прочно крепить на объекте (или объект на установке), а одна из ее измерительных частей должна сниматься, чтобы не мешать сверлению, и надежно возвращаться на прежнее место. Для такого возврата существуют относительно простые методы, например: на одной части разъема по окружности расположены три стальных шарика с расстоянием по дуге 120° , а на ответной стальной части — три радиальных шлифованных паза под тем же углом. Такое устройство обеспечивает съем и возврат снимаемой части в прежнее положение с точностью до 0.1 мкм. Оно хорошо работало в стационарной лабораторной измерительной установке. В дальнейшем были разработаны оптические схемы, позволявшие исключить движущиеся части. Эти схемы были заложены в основу переносных приборостроения.

Сущность способа определения остаточных напряжений методом зондирующей лунки в сочетании с голографической интерферометрией заключается в следующем. Во время первой экспозиции записывается голограмма окрестности будущей лунки на поверхности объекта в исходном состоянии. Потом создается возмущение поверхности тела (например, путем высверливания или травления малой лунки), что позволяет проявиться остаточным напряжениям: изъятие малого объема приводит к локальным упругим перемещениям, пропорциональным остаточным напряжениям. Далее записывается голограмма возмущенной таким образом поверхности тела. В результате наложения голограмм при их одновременном восстановлении упругие перемещения поверхности в окрестности лунки выявляются в виде интерферограммы. Она наглядна и проста для расшифровки:

в случае регистрации нормальной компоненты перемещений (перпендикулярной к исходной поверхности тела), полосы интерферограммы являются линиями уровня, т.е. равных перемещений, отличающихся по высоте на половину длины волны лазерного излучения $\lambda/2 \approx 0.3$ мкм (рис.2). Оси симметрии интерференционной картины совпадают с направлениями экстремальных (главных) растягивающих и сжимающих остаточных напряжений. Величина напряжений пропорциональна числу интерференционных полос, причем цена полосы зависит от упругих свойств материала и от диаметра и глубины лунки и определяется по графикам (рис.3), рассчитанным на основании решения трехмерной задачи теории упругости.

Объем необходимых вычислений для получения значений напряжений очень мал, и они могут быть выполнены оператором сразу же при получении и наблюдении интерференционной картины. При этом, в отличие от тензометрирования, где измерения выполняются для отдельных точек, данный метод регистрирует линии уровня перемещений по всей области поверхности тела в окрестности зондирующей лунки, что позволяет визуально определять направления главных напряжений и делать качественные выводы о свойствах напряжений еще до подсчета числовых значений соответствующих величин.

Тем самым были созданы основы метода для массовой лабораторной работы по измерению остаточных напряжений. Начались исследования остаточных напряжений в сварных соединениях и отработка режимов сварки стали, алюминия, титана, магния. Вначале работа велась с образцами на лабораторном стенде. Новая методика оказалась эффективной при отработке технологии электронно-лучевой сварки и локальной термической обработки образцов разного сечения (плоских, тав-

ровых, цилиндрических, сферических) из высокопрочных сталей разных марок и титановых сплавов.

По мере накопления опыта был сделан следующий важный шаг — создан переносной прибор, который работал не только в лаборатории, но и в цеху и на открытом воздухе. С этим прибором в заводских условиях выполнена комплексная программа по отработке режимов сварки и локальной термической обработки титановых крупногабаритных сосудов высокого давления объемом 1000 л, рассчитанных на рабочее давление 300 атм. Разработка новой технологии шла при непрерывном контроле остаточных напряжений. В итоге технология изготовления сосудов была значительно изменена, удешевлена, а качество изделия повышено. Это исследование проводилось в цехах Авиационного научно-технического комплекса им.А.Н.Туполева. С этим же прибором были сделаны первые выезды на строящуюся Курскую АЭС и Астраханский газоперерабатывающий завод, где измерялись сварочные напряжения в реальных конструкциях в трудных климатических условиях. В сотрудничестве с Конструкторским бюро им.С.А.Лавочкина была усовершенствована технология сварки и режимов термической обработки сварных соединений ряда алюминиевых сплавов, а также выполнена экспертная работа по установлению причин саморазрушения корпуса одного из космических аппаратов во время хранения.

На основе проведенных исследований создано несколько видов портативных голографических систем для измерения напряжений под общим названием ЛИМОН — лазерно-интерферометрический метод определения напряжений, и с помощью этих систем выполнена большая работа, как плановая, так и экспертная, по измерению остаточных напряжений в различных технических объектах

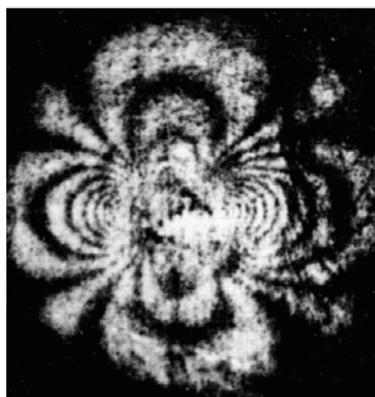


Рис.2. Интерферометрические линии уровня упругих перемещений поверхности тела с остаточными напряжениями в окрестности зондирующей лунки.

на заводах и полигонах. Накопленный опыт использовался при создании каждой следующей измерительной системы.

Электронная спекл-интерферометрия

Голографический метод оказался удобным, надежным, эффективным, быстрым и интересным в работе. Но процесс записи и обработки голограмм довольно сложен и трудоемок: низкая чувствительность фотоматериалов требует экспозиций порядка секунд, мокрая обработка фотопластинок или обслуживание оборудования термopластической записи и визуальное считывание интерферограмм нуждается в специальных навыках операторов. Следует хранить большие массивы информации на фотопластинках или делать с голограмм фотографии.

Современная видео- и вычислительная техника помогла решить некоторые задачи получения, хранения, считывания и об-

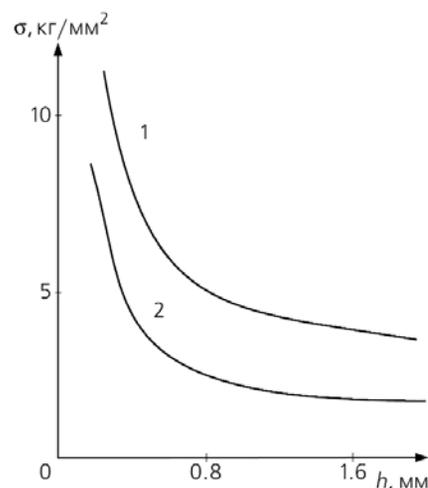
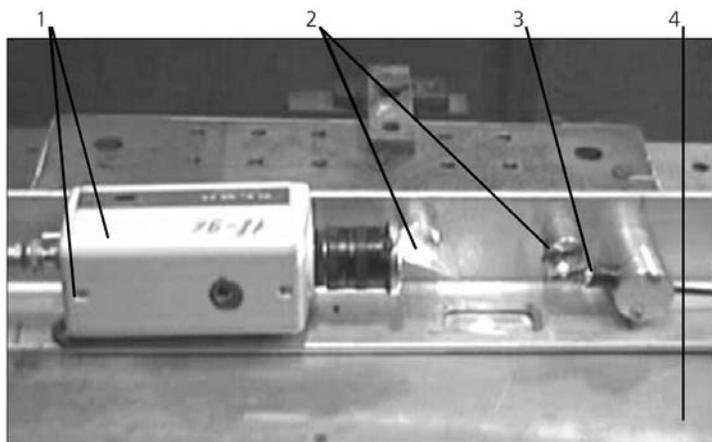


Рис.3. Графики цены полосы (напряжение σ в зависимости от глубины зондирующей лунки): 1 — при измерениях только по черным полосам; 2 — при измерениях как по черным, так и по белым полосам.

работки голографических интерферограмм, но она же представила и другую возможность. Как появление лазера изменило положение в экспериментальной оптике, так и компактная компьютерная техника вызвала второе большое изменение: фотографический детектор был заменен цифровой видеосистемой с регистрацией в ЭВМ оцифрованной видеоинформации о разных, практически неограниченных по количеству экспозициях процесса измерения перемещений и дальнейшей обработкой этой информации. Этот компьютерный метод, называемый электронной спекл-интерферометрией, во многом совпадает с голографической интерферометрией: использование лазера, близкие оптические схемы и по существу те же результаты измерений в виде интерферограмм. Разница состоит в том, что голография фиксирует полную информацию о геометрии тела, в том числе и объем, а спекл-интерферометрия использует электронную фотографию особо тонкой, «зернистой» структуры света, отраженного



а



б

Рис.4. Компьютерный интерферометр ЛИМОН-ТВ: а — общий вид; б — оптическая схема: 1 — видеокамера, 2 — система деления лучей из двух полупрозрачных зеркал и матового стекла, 3 — полупроводниковый лазер, 4 — объект измерений.

диффузным объектом при лазерном освещении, — поле спеклов (англ.: *spark* — искра, вспышка, проблеск; *sparkle* — сверкать, искриться). Глаза наблюдателя отмечают это в виде чарующего мерцания, искорок на участке, освещенном лазером. Детектор — фотопластинка, видеокамера — фиксирует спекл в виде зернистой структуры на изображении. Для голографии спекл является шумом, ухудшающим изображение, но в спекл-интерферометрии это носитель информации, так как спекл-структура зависит от формы поверхности и хорошо отражает ее изменения.

Запись и сопоставление двух спекл-структур, легко проводимые на ЭВМ в цифровой форме, выявляют изменения в положении или геометрии тела в виде такой же системы линий, как и в голографии, т.е. интерферограммы, причем с той же чувствительностью. Уменьшение информативности спекл-интерферограммы по сравнению с голографической за счет замены объемной картины на плоскую в рассматриваемом случае несущественно, а методически неоднородный процесс голографической интерферометрии заменяется единым, технологически связанным циклом с более широкими возможностями автоматизации.

Важной особенностью электронной спекл-интерферомет-

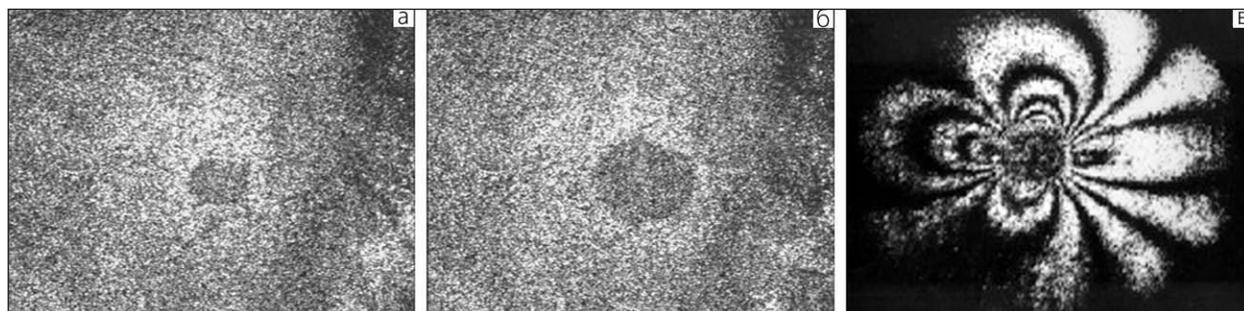


Рис.5. Создание интерференционной картины: а, б — изображения исследуемого участка поверхности объекта до и после высверливания зондирующей лунки, в — интерференционная картина, полученная поточечным вычитанием яркостей изображения а из б.

рии является то, что можно записать практически неограниченное количество экспозиций и затем брать их произвольные комбинации. Каждое сочетание будет отражать сдвиг объекта между экспозициями. Можно сравнивать кадры не только статического состояния, но также кадры, сделанные во время движения объекта; необходимо только подобрать время экспозиции и время между экспозициями. Соответственно последовательность сочетаний экспозиций покажет движение объекта с субмикронной точностью.

С использованием электронной спекл-интерферометрии была создана система нового поколения для измерения напряжений в упругих телах и конструкциях — ЛИМОН-ТВ, в которой объединены идеи и методы голографической интерферометрии, разработанные ранее для анализа остаточных напряжений, с преимуществами современной компьютерной техники. Кроме исследования напряжений эта система позволяет решать и другие задачи: о местах приложения и величинах нагрузок, действующих на упругое тело, о напряжениях в тонких пленках и связях их механических характеристик с напряжениями, о распределенных и локальных неоднородностях структуры тела, о микротрещинах и внутренних расщелениях, об отслоениях покрытий и деформационных предпосылках их возникновения и т.д. Измерения проводятся практически в режиме реального времени.

Переносная малогабаритная измерительная система изготавливается из доступных комплектующих. В ее состав входят блок интерферометра и компьютерный блок. Блок интерферометра (вес для различных вариантов компоновки около 2 кг) состоит из опорно-юстировочной конструкции и корпуса, в котором монтируется полупроводниковый лазер с длиной

волны 640 нм и мощностью излучения 10 мВт, техническая видеокамера с высокой чувствительностью (0.1 люкс) и разрешением 600 телевизионных линий и другие элементы оптической схемы: направляющие зеркала, коллиматор, полупрозрачное делительное зеркало и диффузно рассеивающая пластина, формирующие опорный и предметный световые пучки. Компьютерный блок в мобильном варианте состоит из переносной ЭВМ, имеющей видеовход для подключения обычной видеокамеры. При отсутствии видеовхода в качестве аналогоцифрового преобразователя может быть использовано внешнее устройство типа Cap View, подключаемое к ЭВМ через USB-порт. На рис.4 показаны общий вид компьютерного интерферометра ЛИМОН-ТВ (а) и один из вариантов компоновки оптической схемы прибора (б).

Для обработки записанных изображений с целью получения первичной разностной интерферограммы и улучшения ее контрастности используется специально разработанная программа LIMON-EXPRESS либо графический редактор Adobe Photoshop (версия 4.0 и выше). Программа LIMON-EXPRESS применяется также для расчета остаточных напряжений.

Исходные изображения формируются компьютером в виде точечных матриц максимально достижимых размеров (несколько позволяют возможности видеокамеры и видеокарты) с оцифрованными градациями яркости каждой точки. Первичная обработка состоит в применении алгоритма поточечного вычитания яркостей исходных изображений, снятых до и после внесения возмущения, в результате чего формируется результирующая интерферограмма, отражающая перемещения поверхности тела в окрестности возмущения. На рис.5 представлены этапы создания интерференционной картины.

Экспертные измерения остаточных напряжений в аварийных конструкциях

Одним из первых случаев исследования авторами остаточных напряжений было выявление причин разрушений латунных сепараторов подшипников, приведших к авариям железнодорожных вагонов. Измерения показали, что в сепараторе имелись большие для латуни остаточные напряжения порядка 180 МПа, которые вместе с добавленными к ним рабочими напряжениями приводили к разрушению сепараторов и, как следствие, к авариям. Оказалось, что одна из партий сепараторов не прошла термообработку для снятия остаточных напряжений, наведенных в процессе изготовления. Пришлось установить, на каких вагонах были подшипники с такими сепараторами, и заменить их.

Совместно с ГАЗПРОМом было организовано исследование остаточных напряжений в нефте- и газопроводах, где эти факторы в сочетании с другими неблагоприятными условиями могут привести к авариям, выбросам транспортируемых продуктов и загрязнению среды. Так, на нефтепроводе Холмогоры—Клин в районе р.Чусовая была зафиксирована авария — утечка нефти через трещину в корпусе нефтеотсечки (корпус клиновидной нефтеотсечки — это штамповочно-сварная конструкция из стали 20). Вырезанная из нефтепровода отсечка была доставлена на испытательный полигон ВНИИГАЗ. Сквозная трещина в угловом сварном соединении корпуса проходила по околошовной зоне вблизи линии сплавления. В предположении, что трещина инициирована сварочными остаточными напряжениями, было решено провести измерения в шве и околошовной зоне. После сварки корпус должен был проходить термическую обработку

для уменьшения сварочных напряжений. Контроль уровня остаточных напряжений предусмотрен не был, так как предполагалось, что термообработка снимает их полностью.

Измерения проводились на симметрично расположенном сварном шве, по условиям изготовления и эксплуатации аналогичном разрушенному. Было установлено наличие растягивающих напряжений, направленных вдоль шва, порядка 200 МПа (что близко к пределу текучести материала — 250 МПа) на линии сплавления и спадающих при удалении от нее. Эти напряжения в совокупности с активными напряжениями, возникшими по условиям эксплуатации, явились причиной разрушения. Оказалось, что заводская термообработка если и проводилась, то не уменьшила уровень исходных сварочных напряжений.

Авторы участвовали в установлении причин возникновения трещины в коллекторе парогенератора — высоконагруженного элемента первого контура АЭС. Корпус коллектора — это толстостенная труба, в середине которой находится перфорированная область — большое количество сквозных отвер-

стий, расположенных в определенном порядке близко друг к другу.

Измерения проводились как в зоне перфорации, так и вне ее. Вне области перфорации напряжений не было, тогда как внутри нее напряжения растяжения достигали 150 МПа, что превышает половину предела текучести материала коллектора — стали 20. Такой уровень остаточных напряжений с точки зрения надежности и запаса прочности не может считаться малым, и им нельзя пренебрегать при расчете конструкции. Эти значительные технологические напряжения, возникшие во время сверления отверстий, в сумме с активными напряжениями при эксплуатации коллектора привели к разрушению его корпуса, но они не учитывались в расчетных схемах, которыми пользовались разработчики [6]. Другого убедительного объяснения причин разрушения практически всех коллекторов данной конструкции предложено не было.

Общий вывод о причинах вышеперечисленных и подобных им аварий состоял в том, что остаточными напряжениями фактически пренебрегали: при создании парогенераторов

АЭС они не учитывались при расчете, а в случае с корпусом нефтеотсечки требование снижения остаточных напряжений не было обеспечено соответствующими контрольными приборами.

Здесь описан ряд исследованных фактов отрицательного влияния остаточных напряжений, но существует много примеров их положительных проявлений, о некоторых из которых уже говорилось в начале статьи. Следует упомянуть также о создании предварительных напряжений в железобетонных и мостовых конструкциях, об упрочнении деталей наведением напряжений в их поверхностном слое различными способами — с помощью закалки, обработки дробью и роликами. Все это указывает на важность изучения остаточных напряжений в природе и технике. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 01-01-00093), Министерства высшего образования (проект НИР 201.07.01.070) и Федеральной целевой программы «Интеграция» (проект А0083).

Литература

1. Чернышев Г.Н., Попов А.Л., Козинцев В.М., Пономарев И.И. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. М., 1996.
2. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М., 1963.
3. Касаткин Б.С., Кудрин А.Б., Лобанов Л.М. и др. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. Киев, 1981.
4. Экспериментальная механика: В 2 кн. / Пер. с англ.; Под ред. А.Кобаяси. М., 1990.
5. Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В. Голографическая интерферометрия. М., 1977.
6. Федоров Л.В., Титов В.Ф., Рассохин Н.Г. Парогенераторы атомных электростанций. М., 1992.

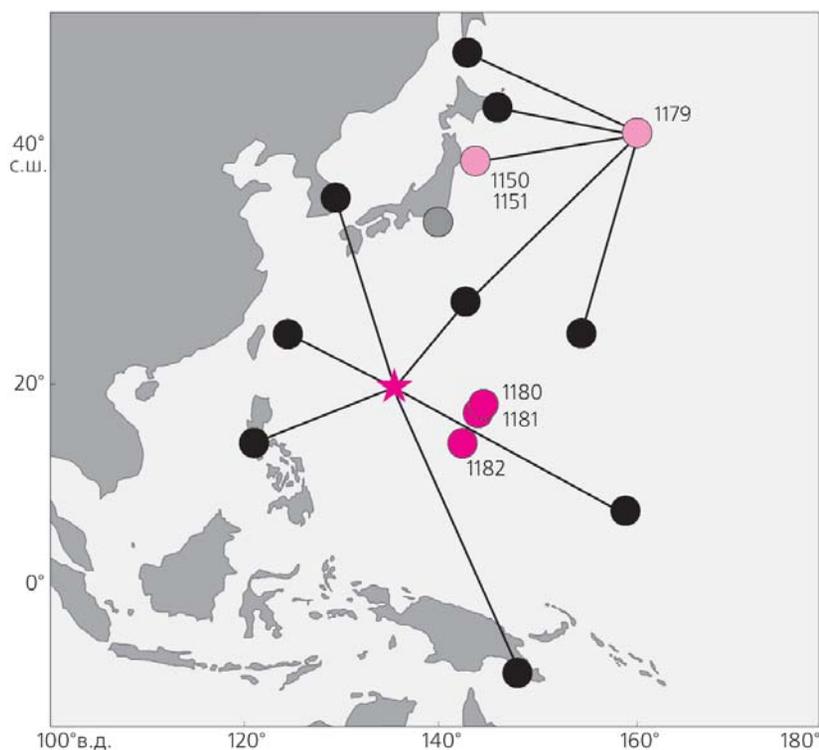
Результаты 191-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн»

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук

Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН
Москва

Бурение в очередном, 191-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн», который проводился в северо-западной части Тихого океана в июле—сентябре 2000 г. под научным руководством Т.Каназавы (Институт исследований землетрясений Токийского университета, Япония), У.У.Сэйгера (Отдел океанографии Техасского университета, США) и К.Эскутия, представителя Программы океанского бурения [1], преследовало две цели. Первая из них, установка долговременной сейсмической станции, — часть проекта по организации Всемирной сети сейсмо станций для непрерывного мониторинга землетрясений. Эта сеть должна включать существующие наземные сейсмо станции, расположенные на всех континентах, и подводные, которые предстоит установить в специально выбранных точках океанов на больших глубинах внутри базальтового слоя. Несколько таких станций запланировано установить в северо-западной части Тихого океана, характеризующейся частыми и сильными землетрясениями. Две из них были установлены



Положение скважин, пробуренных в 191-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» (красные кружки). Сейсмо станции на суше (черные кружки) и в океане (розовые кружки) в северо-западной части Тихого океана. Серый кружок — не действующая японская сейсмо станция. Звезда — планируемое место установки сейсмо станции в базальтовом слое дна Филиппинской котловины.

© И.А.Басов

в 186-м рейсе в скважинах 1150 и 1151 на внутреннем склоне Японского желоба [2]. Еще одну предстоит установить в данном регионе в будущем.

Для установки станции в 191-м рейсе была выбрана точка 1179 на глубине 5566 м в Северо-Западной котловине Тихого океана, между поднятием Шатского и Японией. Здесь пробурено пять скважин с максимальной глубиной проникновения в дно 475 м, в том числе в базальты 100 м. Два сейсмометра в отдельных контейнерах были зацементированы в скв. 1179Е и подсоединены к электронному блоку, расположенному на дне, у устья скважины. Этот блок включает накопительное устройство цифровой информации и батареи, вырабатывающие электрическую энергию путем взаимодействия магниевого анода с морской водой. Накопители информации представляют собой четыре жестких

диска емкостью 18 гигабайт каждый, что обеспечивает непрерывную запись информации в течение более 1.5 лет. После заполнения дисков накопители меняются. Перед установкой и заменой часы накопителей коррелируют с системой глобального позиционирования для введения необходимых временных поправок при обработке собранной информации. Таким образом, первая задача рейса была успешно решена.

Вторую половину рейса планировалось посвятить испытанию новой технологии бурения на твердых трещиноватых породах, обнажающихся на дне океана. По этой технологии используется гидравлический ударный инструмент и обсадная труба, стабилизирующая устье скважины, что обеспечивает в дальнейшем возможность повторного вхождения в нее. Испытание технологии ударного бурения в 17-м рейсе не завер-

шилось [3]. В 191-м рейсе планировалось таким образом пробурить скважины в двух точках в том же районе (в вершинной части поднятия Шатского), однако из-за тайфуна, а затем необходимости эвакуации в Японию одного из членов команды испытания были продолжены далеко от намеченного района около о.Гуам. В первых двух точках (1180 и 1181) на подводной горе они были неудачными из-за того, что здесь вместо ожидаемых твердых пород залегают мягкие осадки, представленные вулканическим пеплом. В точке 1182 на подводном вулкане испытания были более успешными, однако и здесь они закончились потерей обсадной колонны и одной из модификаций бурового ударного инструмента. Поскольку испытания новой буровой технологии не могут считаться окончательными, они, вероятно, будут продолжены в последующих рейсах. ■

Литература

1. Kanazawa T., Sager W.W., Escutia C. et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 2001. Leg 191.
2. Sacks I.S., Suyehiro K., Acton A.M. et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 2000. Leg 186.
3. Pettigrew T.I., Casey J.F., Miller D.J. et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 1999. Leg 179.

Экология

Призыв нобелевских лауреатов

В дни празднования 100-летия Нобелевских премий 108 ныне здравствующих лауреатов подписали обращение к промышленно развитым странам, настаивая на принятии мер против условий, которые, по их мнению, способствуют глобальному терроризму и беспорядкам в развивающемся мире. Главный инициатор документа — лауреат Нобелевской премии по химии 1986 г. Дж.Поланьи (J.Polanyi; Торонтский уни-

верситет, Канада). Он считает, что в ближайшие годы основной угрозой миру во всем мире станут не иррациональные действия государств или отдельных лиц, а законные требования неимущих. «Необходимо прекратить распространение современного оружия во взрывоопасной среде, где конфликт может охватить и богатых, и бедных», — призывает Поланьи. Его поддержал химик М.Молина (M.Molina; Массачусетский технологический институт в Кембридже, США), настаивающий на том, чтобы общество взяло на себя строгие

обязательства использовать науку и технику только во благо.

В документе упоминаются в качестве положительных примеров Киотская конвенция в связи с климатическими изменениями, договоры о сокращении стратегических вооружений, всестороннем запрещении атомных испытаний и др.

Подготовку этого обращения Поланьи начал еще в июле 2001 г. Подписать его отказались около 30 лауреатов по весьма различным мотивам (например, не упоминалось о необходимости контроля за ростом народонаселения на Земле).

Данный текст, подчеркнул Молина, нельзя считать ни либеральным, ни консервативным, а просто рациональным, преследующим длительную стабильность, справедливость и этические цели. В век науки вряд ли правительства и международные организации смогут позволить себе игнорировать точку зрения ученых.

Science. 2001. V.294. №5551. P.2455 (США).

Археология. Геология

Искусство пострадало, а наука выиграла

Гордостью Австралийской национальной галереи (Канберра) служит Амбумский камень. Этот 25-сантиметровый экспонат был в 1962 г. обнаружен в одной из пещер Амбумской долины на западном нагорье Папуа—Новая Гвинея, где обитало примитивное племя ямбу. Вскоре камень был куплен одним европейским коллекционером редкостей, а затем приобретен Австралийской галереей. Антропологи и специалисты по древнему искусству пришли к выводу, что перед ними каменное изображение зародыша ехидны (нередкого в тех краях животного), служившее ритуальным целям, возможно, «способствующее» зачатию или родовспоможению. Но возраст и этнографическая принадлежность предмета оставались неизвестными.

Недавно Австралийская галерея предоставила свой раритет устроителям выставки во Франции, а там его ухитрились уронить. Камень раскололся на три обломка; фрагменты кое-как склеили и вернули в Канберру для тщательной реставрации. Однако тут в дело вмешались геологи и петрологи, настоявшие, чтобы этот экспонат сперва дали им на изучение.

Внутренние части скульптуры исследовала группа ученых

во главе с геологом Дж.Бейном (J.Bain), много лет проработавшим в центре Новой Гвинеи и хорошо знающим местные породы, и Б.Творек-Матушкевич (B.Tworek-Matuszkiewicz), специалистом по искусству примитивных народов и опытным реставратором музейных экспонатов. Образцы были отнесены к мелкозернистым вулканическим породам, вероятно, к андезитовым лавам или туфам (внешний слой, покрытый белой глиной, это скрывал). Теперь надо было отыскать на Папуа—Новой Гвинее местности, где такие породы встречаются, — оттуда этот амулет, вероятно, и происходил.

Геологи и петрологи выяснили, что состав и строение образцов характерны для пород геологической провинции Вабаг на западе Папуа, расположенной рядом с горой Хаген, имеющей вулканическое происхождение. Очевидно, повторившиеся время от времени извержения сказались на чередовании прослоек, заметных в камне. Однако для более подробного химического и петрографического анализа музейщики не позволили отломать даже крошечный кусочек от драгоценного образца.

Когда сотрудники Национального университета в Канберре подвергли оказавшиеся в одном из осколков волоски растительных тканей радиоактивному анализу, выяснилось, что амулету 3,5 тыс. лет! Это — как минимум, ибо датируется лишь органика, а не сам амулет. Антропологов такой вывод весьма обрадовал: именно с этого времени они предполагали у австралийских аборигенов способность обрабатывать камень и прибегать к несложным ритуалам. Повторные анализы позволили уточнить: Амбумский камень вышел из рук древнего человека между 1508 и 1438 гг. до н.э., т.е. вскоре после того, как в Египте закончи-

лось строительство главных пирамид, в Средиземноморье расцвела культура Цикладских о-вов, а в Центральной Америке — цивилизация ольмекков. Так что археологам и антропологам придется отныне с этим считаться.

Ausgeo. 2001. 361. P.16 (Австралия).

Гидрология

Умирающие озера Австралии

На западе австралийского штата Виктория когда-то лежала цепочка кратерных озер. Открытое в 1841 г. оз.Буллен-Мерри, самое глубокое во всем штате, тогда соединялось протокой с другим озером; остальные существовали порознь. Но с тех пор уровень воды в них неуклонно падал, связь между первым и вторым прервалась, а мелкие просто исчезли. Так как эти озера бессточные и никакие реки или ручьи в них не впадают, то само их существование полностью зависит от баланса осадков и испарения. Тем самым они могут играть роль огромных естественных дождемеров и лакмусовой бумаги для определения климатических условий прошлого.

Начиная с 1960-х годов наблюдения за озерами ведут климатологи, лимнологи и геологи Мельбурнского университета, возглавляемые профессором Дж.Боулером (J.Bowler). В опубликованном ими отчете приводятся свидетельства того, что климатические перемены начались с 1800-х годов, но антропогенная деятельность усилила процесс испарения и внесла свой вклад в иссушение местности. До появления первых европейских поселенцев зеркало вод в этих бассейнах стояло, судя по геологическим данным, достаточно высоко в течение почти 2 тыс. лет. Сейчас объем осадков в регионе составляет

около 80% объема испарения. Чтобы достигнуть уровня «доевропейской» эпохи, дожди должны превышать примерно 95% испарения, чего сейчас ожидать не приходится.

Atmosphere. 2001. №11. P.2 (Австралия).

Вулканология

Тревожные дни на Новой Гвинее

Всего в 21 км от г.Попондетта, административного центра провинции Оро на юго-востоке о.Новая Гвинея, высится вулкан Ламингтон, напомнивший о себе 21 декабря 2000 г. и 17 февраля 2001 г. В отличие от большинства других огнедышащих гор на территории Папуа—Новой Гвинеи, он извергается редко, но чрезвычайно грозно. До сих пор не забыли окрестные жители, как полвека назад, 21 января 1951 г., Ламингтон внезапно взорвался и похоронил под своими обломками более 3 тыс. человек. Искерпав свою ярость, Ламингтон с 1951 г. погрузился в дремоту.

Воспользовавшись этим, специалисты из Рабаульской вулканологической обсерватории совместно с вулканологами из Австралии и Японии и обученными аборигенами поспешно развернули на склонах и вершине Ламингтона сначала временную, а с 1970 г. — постоянную густую сеть наблюдений. Сейчас гора оснащена современной сейсмической станцией и электронными приборами, регистрирующими в реальном времени изменения наклона земной поверхности и колебания почвы; эти сведения автоматически передаются в Рабаул, а через искусственные спутники Земли — в Национальное управление по изучению океана и атмосферы США, где подвергаются более глубокому анализу.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2001. V.26. №.6. P.5 (США).

Экология

Траулеры ставят «клеймо» на североатлантические кораллы

Рыболовные суда своими траулами буквально избородили, перепахали на многие километры дно Северной Атлантики к западу от берегов Ирландии, Шотландии и Норвегии, где находятся коралловые рифы. Образование борозд вызвано тем, что для удержания и волочения донных орудий промысла необходимо монтировать к ним металлические плиты, не позволяющие им всплывать. Так интенсивное рыболовство поставило свое «клеймо» на североатлантические кораллы.

Встревоженные такой ситуацией специалисты Университета г.Глазго (Шотландия) на протяжении пяти лет ведут исследования холодноводных коралловых рифов Северной Атлантики, которые сформировались 5000 лет назад на периферии материковой отмели, на границах раздела между малыми и большими глубинами континентального склона. Здесь находятся наиболее важные места размножения и роста многих видов океанической фауны.

Sciences et Avenir. 2002. №662. P.43 (Франция).

Геофизика

Соляная пустыня служит науке

В самом конце 2001 г., в разгар лета Южного полушария, отдел по изучению атмосферы при Управлении науки и техники Австралии организовал экспедицию в самую глубь Зеленого континента: там, в 500 км к северу от Аделаиды, лежит соляная пустыня. На картах она обозначена как оз.Фром, но воды в нем дав-

ным-давно нет — вся впадина на многие десятки километров устлана мощным слоем соли. Естественно, соль интенсивно отражает солнечную радиацию, так что без темных очков можно ослепнуть, а загар быстро превращается в ожоги от излучения, идущего не столько сверху, сколько снизу. Чтобы проникнуть в эти места, ученые использовали специальные колесные вездеходы, передвигающиеся по столовой соли и не боящиеся ее разрушающего воздействия.

Озеро Фром — уникальное место для испытания оборудования, которое ныне уже работает на борту американского спутника «ЕО-1» («Earth Observation»). Этот спутник, как и следует из его названия («Наблюдение Земли»), оснащен прибором «Nurregion», измеряющим отражательную способность планеты. Уникальность его в том, что он регистрирует яркость свечения Земли в 220 диапазонах спектра. Но пока прибор находился в лабораторных условиях, его точность определялась приблизительно. О реальной его эффективности можно говорить тогда, когда он сфокусирован на очень светлом и однородном объекте, светимость которого сравнительно легко поддается измерению.

Идеальным инструментом для калибровки этого прибора и служит соляная пустыня. А для сравнения показателей специалисты использовали настоящее — глубокое и темное, активно поглощающее солнечные лучи — оз.Аргайл в штате Западная Австралия.

Руководимая физиком Д.Джаппом (D.Jupp) команда австралийских ученых завершила обработку полученных данных, которых с нетерпением ожидают специалисты, организовавшие наблюдения Земли из космоса.

Atmosphere. 2001. №11. P.1 (Австралия).

БИОЛОГИЯ НА КРАЮ ЕЕ «АРЕАЛА»

Совсем недавно в нашем журнале мы отмечали 170-летие Зоологического института РАН (Санкт-Петербург), хорошо известного не только биологам. Однако мало кто знает о существовании другого биологического института, который находится на той же широте, но на противоположной стороне материка. Институт биологических проблем Севера ДВО РАН (ИБПС) не может сравниться с крупными академическими учреждениями страны ни по штату сотрудников, ни по возрасту — ему всего-то 30 лет, да и расположен он в г.Магадане, который у многих ассоциируется с самым краем Земли, с невыносимыми условиями Севера. Тем не менее ни суровость климата, ни удаленность от научных центров более чем на 10 тыс. километров не сказываются на результатах исследований института, работы которого имеют не столько частное, сколько общебиологическое значение. Надеемся, что читателю будет интересно познакомиться с некоторыми направлениями научной деятельности ИБПС, равно как и с историей его создания.

Институту биологических проблем Севера ДВО РАН 30 лет

Изучение природы северо-востока Азии имеет довольно длительную историю. Пожалуй, первые, но крайне отрывочные сведения можно найти уже в «сказках служилых и казенных людей» XVII—XVIII вв., основавших русские поселения. Накопление действительно научных материалов началось в 1791—1792 гг., когда экспедиция И.И.Биллингса прошла от Мечигменской губы на северо-востоке Чукотки к русским поселениям на Колыме. В XIX в. на севере Дальнего Востока проводили исследования несколько экспедиций, снаряженных Адмиралтейством совместно с Петербургской академией наук и Российским географическим обществом и руководимых Г.А.Сарычевым, Ф.П.Врангелем, Г.Л.Майделем, А.М.Сибиряковым, А.Э.Норденшельдом и др.

Однако эти работы ограничивались в основном изучением морских побережий и давали лишь косвенное представление о природе внутриконтинентальных районов. Тем не менее обработка собранных материалов позволила сделать первые обобщения, в частности в 1926 г. появилась сводка С.И.Огнева о млекопитающих северо-востока Сибири.

В 20—40-х годах к изучению Крайнего Северо-Востока подключились ботаники, почвоведы и зоологи (В.Б.Сочава, Б.Н.Городков, Г.Э.Гроссет, А.Т.Макаров, Л.О.Белопольский, Л.А.Портенко и др.), которые выяснили основные морфологические особенности почв, специфику ботанико-географических зон региона, общие черты животного и растительного мира. В 50—60-е годы проводились активные экспедиционные исследования

почв (Е.М.Наумов), флоры и растительности (Б.А.Тихомиров, Б.А.Юрцев и др.), фауны и экологии животных (Л.А.Портенко, А.А.Кищинский, Ф.Б.Чернявский), гельминтофауны (А.А.Спасский и др.). Однако разрозненные экспедиционные работы не позволяли перейти к углубленному и всестороннему изучению природных ресурсов региона, более известного тогда значительными запасами минерального сырья.

В начале 1966 г. директор Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института Сибирского отделения АН СССР (СВКНИИ) Н.А.Шило задумал организовать в Магадане Институт физиологии труда, его поддержали известные ученые, понимающие необходимость развития науки на Севере, — Е.М.Крепс, В.Н.Чернигов-

ский, А.Д.Слоним, Д.К.Беляев. Позднее под влиянием ученого секретаря президиума СО АН СССР Н.Н.Воронцова возникла идея создать Институт общей биологии и физиологии труда. И наконец, когда оказалось, что традиционные биологи более легки на подъем и, в отличие от физиологов, действительно готовы ехать в Магадан, президиум Сибирского отделения в марте 1968 г. выпустил «Постановление о развитии в СО АН СССР биологических исследований в северных районах Сибири и Дальнего Востока», которое подразумевало организацию в Магадане соответствующего института. Однако на первом этапе в СВКНИИ был создан отдел биологических проблем Севера, который возглавил В.Л.Контримавичус — ученик основоположника советской гельминтологии К.И.Скрябина.

Поначалу отдел состоял всего из двух лабораторий: зоологии и паразитологии, в которую были приглашены ученые из Института биологии СО АН СССР (г.Якутск) во главе с известным зоологом О.В.Егоровым, и физиологии, которой руководил Ю.Ф.Пастухов из новосибирского Института физиологии. Впоследствии коллектив из 17 человек пополнился за счет приглашенных из центральных районов страны ученых и молодых специалистов, и в 1972 г., к моменту организации Института биологических проблем Севера, в девяти лабораториях и двух исследовательских группах работали 110 человек, среди них, к сожалению, уже ушедшие из жизни, известные не только в нашей стране, но и за рубежом ученые: А.П.Васьковский, В.Г.Кривошеев, А.П.Хохряков и др. Кстати, большинство нынешних «завлабов» — это «мнсы», аспиранты и «старлабы» начала—середины 70-х годов. Сегодня в институте трудятся всего 70 научных сотрудников (среди которых девять докторов и 40 кандидатов наук). Тем не менее научная жизнь отнюдь не угасает.

В отличие от большинства старейших академических учреждений, которые развивались, как и сама биология, — от элементарной инвентаризации биологических объектов к изучению их молекулярными и генетическими методами, в нашем относительно молодом институте это происходило почти одновременно. Лишь на первых порах работа в регионе, представлявшем практически сплошное белое пятно, сводилась к инвентаризации населяющих его организмов, однако с середины 70-х годов спектр научных исследований начал расширяться, и ныне в ИБПС занимаются изучением адаптивных стратегий биологических систем разного уровня в условиях Севера; принципов организации северных популяций, сообществ, экосистем; комплекса проблем биогеографии и экологии берингийского сектора Арктики и Субарктики. Разрабатываются также научные основы охраны, воспроизводства и рационального использования биологических ресурсов Севера. За прошедшие годы сделано довольно много, упомянем лишь важнейшие результаты, расположив их не в хронологическом порядке, а по группам изучаемых организмов и их месту в северных биоценозах.

Лемминги — массовые обитатели зональных тундр, активно влияющие на ландшафтный облик. В течение многих лет изучались особенности популяционных циклов этих животных в экосистемах разной сложности, с различным составом и продуктивностью растительного покрова. В результате была выявлена изменчивость генетической структуры популяций сибирского и копытного леммингов на разных фазах цикла, а также разработана многофакторная концепция популяционных циклов мелких грызунов на Севере.

На основе комплексного биогеографического метода с привлечением данных по цитологии и анализу ДНК уточнена

таксономия и восстановлена четвертичная история некоторых родов млекопитающих (*Sorex*, *Lemmus*, *Ovis* и др.) Северо-Восточной Азии. Более высокое видовое разнообразие в северной части региона обусловлено несколькими миграционными волнами и берингийским фаунистическим обменом, тогда как на юге видообразование было связано в основном с процессами вымирания и изоляции. Анализ систематических связей амфиберингийских представителей различных родов наземных млекопитающих позволил скорректировать таксономический статус некоторых видовых форм и проследить формирование их ареалов в связи с историей Берингии. Итоги некоторых ревизий и фаунистических исследований внесли поправки в схему териогеографического районирования Приберингийской Субарктики. Выявлена роль Берингии в формировании наземной териофауны берингийского сектора Голарктики.

Изучена экология аборигенных, акклиматизированных и ре-акклиматизированных охотничьих видов млекопитающих (соболя, американской норки, бурого медведя, снежного барана, лося) северо-востока Сибири и разработаны научные основы их промысла. Изучена генетическая структура четырех видов охотоморских тюленей.

Получены сведения о таксономическом разнообразии и распространении птиц в различных регионах дальневосточного Севера, проанализирован состав фауны птиц в восьми ландшафтно-экологических участках и охарактеризовано состояние шести редких видов. Описана 21 ключевая орнитологическая территория, а также особо охраняемые природные зоны в Чукотском автономном округе и Магаданской обл. Все полученные данные включены в «Международную красную книгу Азии», в базу данных по ключевым орнитологическим терри-

ториям Азии и Каталог водно-болотных угодий северо-востока России.

Исследованы численность, экология и роль в экосистемах ржанкообразных птиц — биоиндикаторов состояния природной среды. Выявлены миграционные связи (пути пролета и места зимовок) семи популяций пяти видов гусей, гнездящихся на северо-востоке Азии. Проведено первое в отечественной экологии монографическое изучение азиатской дикуши — эндемичного вида восточносибирской тайги — методом длительного радиометрического слежения, отлова и мечения всей популяции.

Созданы база данных и каталог колоний морских птиц региона. Проведено многолетнее изучение демографического статуса и продуктивности популяций видов морских птиц; выявлено единство репродуктивных стратегий птиц в различных районах азиатской и американской Пацифики при коренных отличиях от атлантических птиц.

Сформулировано представление об адаптивной стратегии сибирского углозуба — единственной заселившей зону тундры хвостатой амфибии с наибольшим среди евроазиатских амфибий ареалом. Экологическая пластичность углозуба обеспечивается комплексом адаптаций, среди которых отмечена и феноменальная способность животных всех возрастов зимовать на суше в мерзлом состоянии. Эти самые северные в мире амфибии переносят охлаждение до -40°C благодаря накоплению высоких концентраций глицерина, выполняющего функции криопротектора.

Завершен анализ биогеографической структуры пресноводной ихтиофауны северо-востока Азии и в целом прибережных территорий Азии и Северной Америки. Разработана новая, оригинальная схема районирования Голарктики на основании распространения

пресноводных рыб, в которой обосновано повышение Палеарктики и Неарктики до ранга областей и выделена переходная между ними Берингийская область, включающая территории Восточной Чукотки, Западной и Арктической Аляски. Установлено, что современная структура пресноводной ихтиофауны прибережных территорий имеет сложную историю и сложилась в течение плиоцен-плейстоценового времени.

Впервые составлен список пресноводных и морских прибрежных рыб Тауйской губы (север Охотского моря), включающий 115 видов из 77 родов и 29 семейств. Обобщены результаты 30-летних исследований биологии пресноводных рыб крупнейшего на северо-востоке России Анадырского речного бассейна.

Завершено изучение кариологии лососевых рыб, выявлена глубокая генетическая дифференциация локальных стад дальневосточных лососей. Описаны новые эндемичные род и вид глубоководной лососевидной рыбы — длинноперой палии Световидова из древнего оз.Эльгыгыттын. Предложена новая система гольцовых рыб, выделенных в отдельную трибу с четырьмя родами. Охарактеризованы новые роды и виды ископаемых рыб из миоценовых морских отложений Сахалина.

Обобщены результаты многолетних исследований по определению видового состава и экологии наземных беспозвоночных животных, в частности изучена таксономия и фауна пауков и жуков стафилин, насчитывающая около 550 и 166 видов соответственно. Помимо этого, выявлена фауна доминирующих в сообществах видов (дождевые черви, многоножки, саранчовые, муравьи, шмели, некоторые семейства жуков), детально изучены экология (включающая ландшафтное распределение), онтогенетические циклы, холодостойкость и био-

химическая стратегия холодозащиты. Описано распределение почвенной мезофауны (в основном на уровне семейств). Вкупе с многолетними микроклиматическими исследованиями сформулированы представления о факторах, контролирующих ландшафтное распределение беспозвоночных животных и их сообществ.

Детальными сравнительными исследованиями современной и ископаемой фауны беспозвоночных животных различных групп в реликтовых степях северо-востока Азии и северо-запада Америки показано, что Аляска и Канадский Юкон ни в плиоцене, ни в плейстоцене не были продолжением тундростепей. Выяснилось, что северо-восток Азии и северо-запад Америки были едины по общим видам растений ксерофитов и крупных травоядных животных, но различались по составу сообществ беспозвоночных животных, что свидетельствует о значительных ландшафтных и климатических отличиях этих регионов. На основе современного и бывшего распространения насекомых реконструированы базовые характеристики климата северо-востока Азии в холодные эпохи плейстоцена.

Подведены итоги исследований таксономического разнообразия, экологии и распространения амфибиотических насекомых северо-востока Азии, представленных 763 видами, относящимися к 267 родам из 67 семейств девяти отрядов. Проведен зоогеографический анализ фауны этих насекомых, а также таксономическая ревизия мировой фауны водяных клещей.

На основе учения В.Н.Беклемишева о паразитарных системах разработан оригинальный методический подход к исследованию популяционной биологии гельминтов, получивший широкое применение и развитие в отечественной и зарубежной паразитологии. На примере акантоцефалов установлены

критерии выделения территориальных модификаций паразитарных систем фоновых видов гельминтов птиц Субарктики и выдвинута гипотеза о существовании обособленных субарктических популяций паразитов, принадлежащих к числу полизональных, широко распространенных видов. Проведен анализ структурной организации паразитарных систем гельминтов гольцовых рыб оз.Эльгыгытгын, экосистема которого характеризуется как крупнейший в Центральной Чукотке природный очаг диффилоботриоза.

Впервые для региона описано более 300 видов растений, из них несколько десятков новых для науки. Создан уникальный гербарий флоры северо-востока Азии (свыше 80 тыс. листов). Завершены многолетние исследования розоцветных и крестоцветных региона, разработана классификация жизненных форм, установлены пути и формы морфологических адаптаций к условиям Севера. Установлено, что в лесной зоне Магаданской обл. обитает 92 вида печеночных мхов, а в водоемах этой области и Чукотки — 1200 видов и форм диатомовых водорослей. Проведена также ревизия почвенных грибов.

Созданы карты растительности Чукотского автономного округа и Магаданской обл. в масштабе 1:2 500 000.

Подведены итоги исследования ценотической организации растительного покрова, сформулированы принципы оптимальности биологического круговорота в экосистемах суши. Завершено геоботаническое картирование северо-востока Азии; выделено 13 геоботанических округов с подробными описаниями растительности для каждого. Завершено изучение ландшафтно-экологической структуры растительного покрова, сформирована база данных экологического мониторинга и создана система экспертно-прогнозных карт био-

продуктивности почвенно-растительных комплексов Северо-Востока — по пространственному распределению ежегодного прироста, запасам фитомассы и общей биомассы.

Подготовлено 11 листов Государственной почвенной карты СССР. Для некоторых районов изучены состав, физико-химические свойства и гидротермальный режим почв, разработана их классификация на всей территории Магаданской обл. Оценена интегральная микробиологическая активность основных разновидностей почв региона.

Вниманием исследователей не обойден и человек. Установлена экологическая обусловленность генетической структуры приполярных популяций человека; в частности, выяснилось, что коренные жители Севера адаптируются благодаря механизмам пространственно-образного восприятия и переработки информации. Установлено, что развитие вторичных иммунодефицитных состояний у жителей Крайнего Севера связано с системными изменениями кроветворной ткани.

На основании данных об изменчивости двух высокополиморфных генетических систем (митохондриальной ДНК и нерекомбинирующих участков Y-хромосомы) детально охарактеризованы генофонды этнических групп коренного (коряки, эвены, эвенки, якуты, тувинцы, буряты, шорцы, хакасы, алтайцы, тофалары) и пришлого восточнославянского (русские, украинцы) населения Северной Азии. Полученные данные использованы для изучения процессов формирования конкретных этнических групп, а также для реконструкции процессов заселения Евразии человеком в палеолите и неолите.

Помимо фундаментальных исследований в ИБПС выполнен комплекс работ, имеющих несомненное прикладное значение. В связи со строительством Колымской и Усть-Среднеканской

ГЭС была разработана технология прогнозирования экологических последствий от создания крупных гидротехнических сооружений в горных вечномерзлотных районах. Составлен экологический прогноз для зоны строительства Колымской ГЭС, осуществлен выбор оптимального расположения створа второй станции каскада в верховьях Колымы, предусматривающий наименьшую трансформацию ландшафтов и минимальный ущерб природной среде. Разработан прогноз экологических последствий от строительства Амгуэмской ГЭС, включающий вероятные изменения климата и микроклимата, почвенного и растительного покровов, флоры, фауны водных сообществ, гельминтологического статуса территории, а также качества воды.

Экологические исследования стали основанием для организации заповедников «Остров Врангеля» и «Магаданский» и специализированных заказников «Омолонский», «Тайгоносский», «Аткинский», «Усть-Чаунский», «Лебединый», «Автаткуль», «Залив Одян», «Чайгургино», памятника природы «Остров Талан». Планируется создание новых охраняемых территорий, в том числе в районе уникального оз.Эльгыгытгын, представляющего с плиоцена относительно замкнутую экосистему, в которой шла адаптация растительных и животных сообществ к крайне суровым условиям арктического плоскогорья.

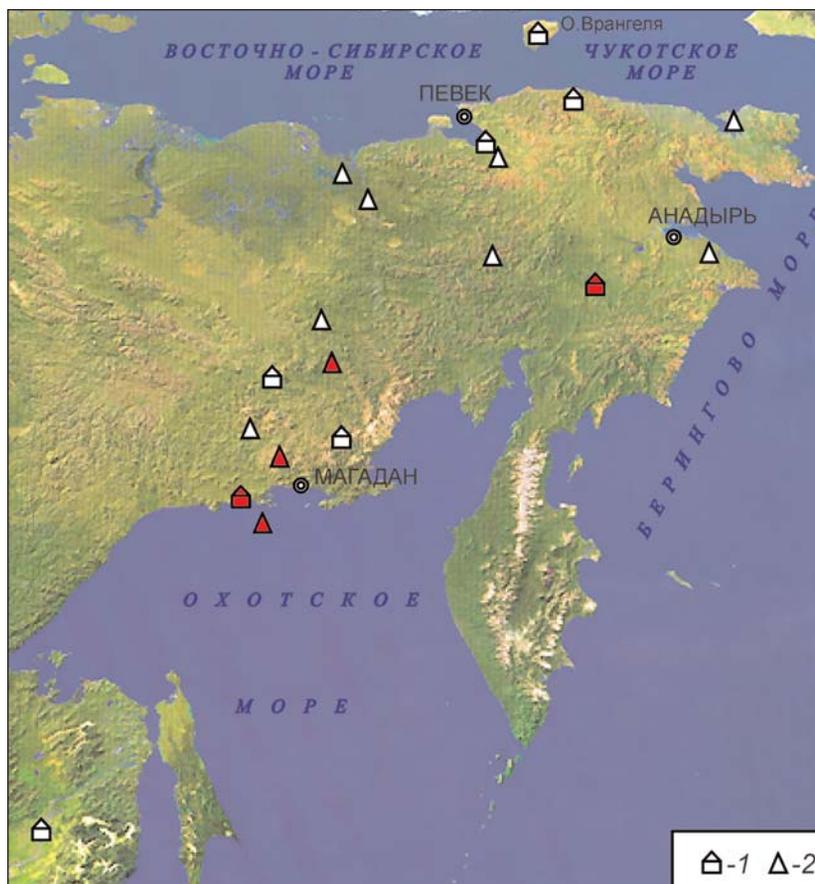
Несомненно, научно-практическое значение имеют составленные и изданные в институте определители и сводки по группам животных и растений, монографические описания отдельных представителей фауны региона, а также «Красная книга севера Дальнего Востока России. Животные».

* * *

Конечно, у ИБПС, как и у любого другого академического института, немало проблем, и прежде всего финансовых.

По этой причине, в частности, с начала 90-х годов прекратили работу большинство стационаров, которые в условиях Крайнего Севера значительно облегчали работу исследователей. Слабая изученность громадного (площадью почти 1.2 млн км²) региона и отсутствие дорог определили нестандартный подход к организации экспедиционных работ. За короткое время была создана сеть стационаров и полевых баз во всех основных ландшафтных зонах, не имевшая аналогов не только на территории СССР, но и в мире. Поначалу стационары создавались силами одной-двух лабораторий, но постепенно часть из них превратилась в многопрофильные подразделения, располагающие лабораторными и жилыми помещениями, оснащенными оборудованием, наземным и водным транспортом. Так, на стационарах «Усть-Чаун» (Северо-Западная Чукотка) и «Абориген» (верхнее течение р.Колымы) одновременно могли работать до 40 человек, причем вместе с сотрудниками ИБПС (гельминтологами, зоологами, ихтиологами, ботаниками, почвоведом, орнитологами, гидробиологами, генетиками) здесь проводили многолетние исследования специалисты из других научных учреждений СССР, а также США, Финляндии, Австрии, Германии, Японии исследования по международным проектам, а также с помощью государственных программ (РФФИ, ГНТИ и ФЦНТИ). Несколько лучше обстоит дело с подготовкой собственных научных кадров. В 1997 г. состоялся первый выпуск отделения биологии и химии Северного международного университета, базой для которого служит ИБПС, и теперь ежегодно в лаборатории и аспирантуру приходят

сотрудникам удается, участвуя в совместных с учеными США, Финляндии, Австрии, Германии, Японии исследованиях по международным проектам, а также с помощью государственных программ (РФФИ, ГНТИ и ФЦНТИ). Несколько лучше обстоит дело с подготовкой собственных научных кадров. В 1997 г. состоялся первый выпуск отделения биологии и химии Северного международного университета, базой для которого служит ИБПС, и теперь ежегодно в лаборатории и аспирантуру приходят



Стационары (1) и полевые базы (2) — действующие (отмечены красным цветом) и закрытые.

сотрудникам удается, участвуя в совместных с учеными США, Финляндии, Австрии, Германии, Японии исследованиях по международным проектам, а также с помощью государственных программ (РФФИ, ГНТИ и ФЦНТИ). Несколько лучше обстоит дело с подготовкой собственных научных кадров. В 1997 г. состоялся первый выпуск отделения биологии и химии Северного международного университета, базой для которого служит ИБПС, и теперь ежегодно в лаборатории и аспирантуру приходят

выпускники отделения. Более двух десятков научных сотрудников преподают в университете. И совсем замечательно — с помещениями. Довольно долго ИБПС ютился в совершенно не пригодном для научной работы, и к тому же находящемся в аварийном состоянии, помещении. Вот уже несколько лет, как институт переехал в новое прекрасное здание, построенное в трудное для страны время. ■

© В.А.Кашин,

кандидат биологических наук, ученый секретарь ИБПС ДВО РАН

Лемминговые циклы

Ф.Б.Чернявский

Взгляды зоологов на природу периодических колебаний численности леммингов в тундровой зоне Голарктики были изложены на страницах журнала «Природа» более 30 лет назад [1]. Но тогда механизм этого довольно хорошо изученного явления оставался загадкой. Все прошедшие годы небольшие зверьки из подсемейства полевок, играющие важную роль в жизни тундровых биоценозов, продолжали интересовать специалистов многих стран [2]. Лемминговые циклы — один из частных случаев общей экологической проблемы, которая уже несколько десятилетий служит предметом острых дискуссий.

В 1972 г. мы начали долговременную программу по изучению динамики численности леммингов сибирского (*Lemmus sibiricus*) и копытного (*Dicrostonyx torquatus*) на о.Врангеля, в Чаунской и Колымской низменностях. Сегодня хорошо известно, что правильная периодичность пиков их численности — четкая закономерность, свойственная всей тундровой зоне от Скандинавии до Северной Канады. Пики, как правило, отделены друг от друга промежутками в три-четыре года и происходят синхронно у обоих видов грызунов.



Феликс Борисович Чернявский, доктор биологических наук, Соросовский профессор, директор Института биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан), заведующий лабораторией экологии млекопитающих. Основные труды посвящены систематике, зоогеографии и экологии млекопитающих Севера, биогеографии Берингии.

Сравнение лемминговых циклов в разных подзонах тундры в пределах северо-востока Сибири показало, что их структура подвержена географической изменчивости. Наиболее четкая картина наблюдается в сравнительно малопродуктивной арктической экосистеме, но имеющей достаточно полный набор хищников и условий для обитания обоих видов тундровых леммингов. Так, на о.Врангеля амплитуда годовых колебаний численности и длина периодов между ними, судя по нашим данным, возрастает с увеличением широты. Участие копытного лемминга

в цикле зависит от наличия подходящей для него ниши в экосистеме. В южной, сравнительно высокопродуктивной тундре с неполным набором хищников циклы имеют малую амплитуду. Это говорит о том, что структура тундровой экосистемы играет существенную роль в характере леммингового цикла.

Демография

Основные демографические параметры, от которых зависит численность любой популяции — это показатели размно-



Лемминг копытный и его гнездо.



Фото автора

жения, смертности и половозрастной структуры. Продолжительные наблюдения за лемминговыми популяциями на о.Врангеля (1972—1982) и в Колымской низменности (1981—1996) позволили получить довольно четкую демографическую картину.

Давно известно, что лемминги способны размножаться под снегом. По возрастному составу выборок из популяций обоих видов грызунов, отловленных в июне, видно, что весной эта уникальная особенность проявляется на всех стадиях цикла, но с разной интенсивностью: самая высокая в годы роста численности (у взрослых самок не менее пяти-шести подснежных пометов), самая низкая — в годы спада. Оба вида леммингов регулярно приносят выводки в январе—апреле, хотя на всех фазах цикла активнее размножаются в марте—апреле. Репродукция разной степени интенсивности происходит в марте — апреле. Это подтверждает точку зрения, что подснежное размножение тундровых зверьков, несмотря на пониженную плодовитость са-

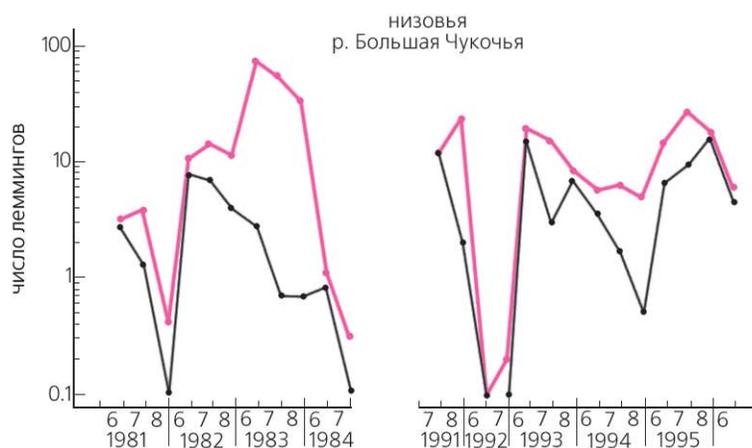
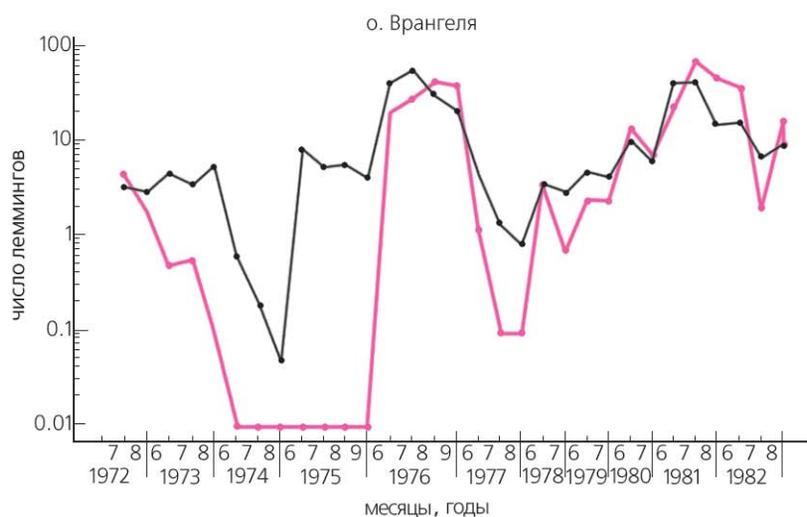
мок, приводит к росту популяций [3].

Летом в разных районах тундры взрослые самки приносят два-три выводка. Иногда один-два помета дают и молодые самки-сеголетки. Продолжительность летней репродукции, точнее, сроки ее окончания, сильно колеблется в зависимости от плотности популяции. Особенно рано заканчивается размножение, когда численность грызунов максимальна. Так, на о.Врангеля в фазе пика (1976) у сибирских леммингов оно прекратилось в конце июля, а у копытных еще раньше — в середине этого месяца. Повышенная плотность популяции приводит также к нарушению репродуктивных функций: резко снижается вес семенников, прекращается сперматогенез у самцов и смещается эстральный цикл у самок. В зависимости от фазы цикла меняется и интенсивность летнего размножения. На о.Врангеля она сильнее (наивысшая доля самок и самцов, участвующих в размножении) в фазе роста численности. На фазах спада и депрессии, несмотря на значи-

тельную продолжительность летнего размножения, репродуктивная активность сравнительно низка [3].

Таким образом, летняя плодовитость у сибирского и копытного леммингов снижена на фазах спада и депрессии, заметно увеличена в фазе роста и предельно высока при максимуме численности. Динамика роста лемминговых популяций свидетельствует о высокой смертности зверьков зимой, после фазы пика, а также повышенной ювенильной смертности (гибели уже родившегося молодняка в гнездах) летом, в фазе пика. В переуплотненных популяциях грызунов замедлено половое созревание молодняка, в фазе роста изменяется возрастная структура популяции (омоложение), а у копытных леммингов соотношение полов сдвигается в пользу самок.

Итак, при достижении максимальной численности быстрее заканчивается летняя репродукция, размножение под снегом не возобновляется; параллельно увеличивается смертность во всех возрастных группах, в ито-



Волны жизни сибирского (цветные кривые) и копытного леммингов. На о.Врангеля (71°с.ш.), в сравнительно малопродуктивной арктической тундре с типичным набором хищников, циклически меняется численность обоих видов. Промежутки между максимумами одинаковы и сравнительно продолжительны (четыре года). Амплитуда годовых колебаний чрезвычайно широкая: для сибирского лемминга — 600-кратная и для копытного — 200-кратная. В низовьях р.Большая Чукочья (70°с.ш.), в южной, более продуктивной, подзоне арктических тундр с несколько измененным комплексом хищников амплитуда годовых колебаний для сибирского лемминга — 30-кратная и для копытного — 5-кратная; промежутки между пиками — в основном три года. В Чаунской низменности (низовья р. Пегтымель, 69°с.ш.), в зоне южных тундр с обильным и сравнительно продуктивным растительным покровом, обедненным составом хищников циклы характерны лишь для сибирского лемминга (численность копытного ничтожно мала), всплески численности невелики, а промежутки между пиками — два-три года. По оси ординат — число леммингов, попавших в 100 ловушек за сутки.

ге численность грызунов резко падает. Год-два после «краха» интенсивность размножения леммингов остается средней, а смертность — сравнительно высокой, и лишь затем популяция вновь вступает в фазу роста. Правильная периодичность пиков и спадов свидетельствует об автономности популяционно-демографических перестроек,

формирующих циклы, от факторов среды и о прямой связи их с плотностью популяции.

Растительность

Сравнительно низкая продуктивность тундровых экосистем и огромная численность обитающих там леммингов

(в фазе пика до 550 экз. обоих видов на 1 га) позволили предположить, что острая нехватка кормов может стать ведущим фактором в динамике численности грызунов. Действительно, имеются данные о том, что при максимальной численности в некоторых ассоциациях они стравливают растительность на 50—90%. Особенно это харак-

терно для наиболее обедненных тундровых экосистем (подзона арктических тундр) в местах зимней концентрации зверьков.

Благодаря специальным исследованиям связей леммингов и растительности, проведенным на о.Врангеля, мы установили, что сибирские питаются в основном осоками и зелеными мхами, а копытные — кустарничками разнообразных ив и дриад. Злаки и разнотравье оба вида используют в равной мере. Проведенный на модельных куртинах учет фитомассы пяти видов растений (составляющих основу рациона обоих видов леммингов) в год пика и в два последующих года, показал, что осоки и злаки на следующий год после интенсивного стравливания значительно увеличили свою наземную фитомассу. Это говорит о высокой приспособленности тундровой растительности к прессу со стороны леммингов, и в частности о ее способности быстро восстанавливать свою биомассу.

В серии опытов, проведенных на фазе пика, подсчитано, что за три летних месяца копытные лемминги уничтожили от 30 до 55% наземной фитомассы ивнячков и дриад [3]. Поскольку не все побеги и листья кустарничков были доступны грызунам, можно считать, что кормовые запасы в фазе пика используются полностью и появляется дефицит кормов. Наблюдения показали, что зимой, когда площадь пригодных кормов резко сокращается, ситуация осложняется. На следующий год после пика в местах зимовки леммингов растительность была сильно потравлена: в осоково-моховых ассоциациях побеги осок (28% осоки блестящей от общей площади) были целиком объедены. В ассоциациях, где доминировал злак дюпонция Фишера, аналогичные участки занимали 35%.

Сведения, имеющиеся в литературе, и полученные нами данные не дают точного ответа

на вопрос, в какой мере дефицит кормов сказывается на выживаемости и репродуктивности леммингов. Тем не менее нехватку кормов, ведущую к нарушению энергетического баланса грызунов, следует рассматривать как вполне реальную причину их зимней смертности, наблюдаемую после пика численности. Но, признавая участие пищевого фактора в регуляции численности леммингов, мы не разделяем точку зрения многих экологов о его ведущей роли.

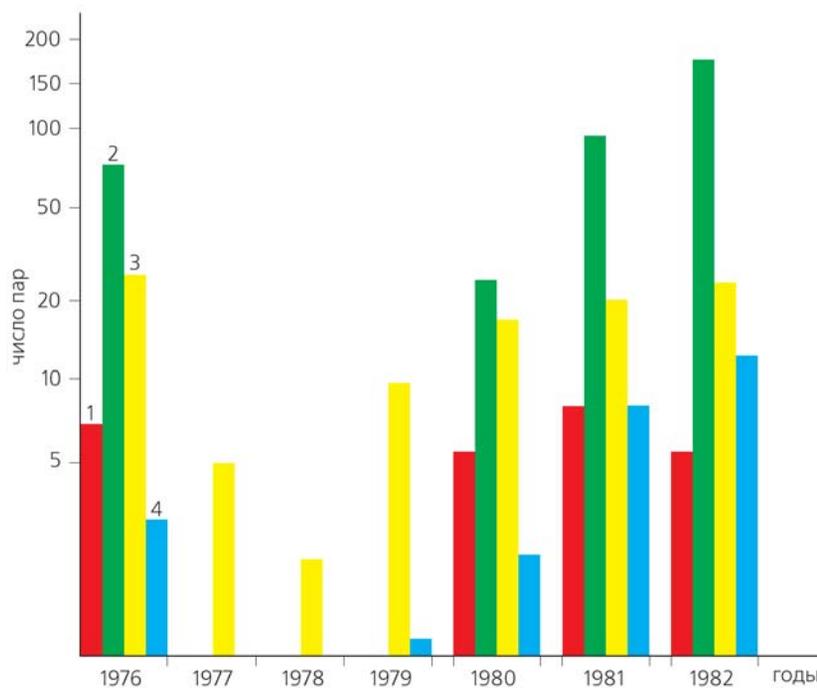
Хищники

На о.Врангеля, как и в большинстве других районов Арктики, основные потребители леммингов — средний и длиннохвостый поморники (*Stercora-*

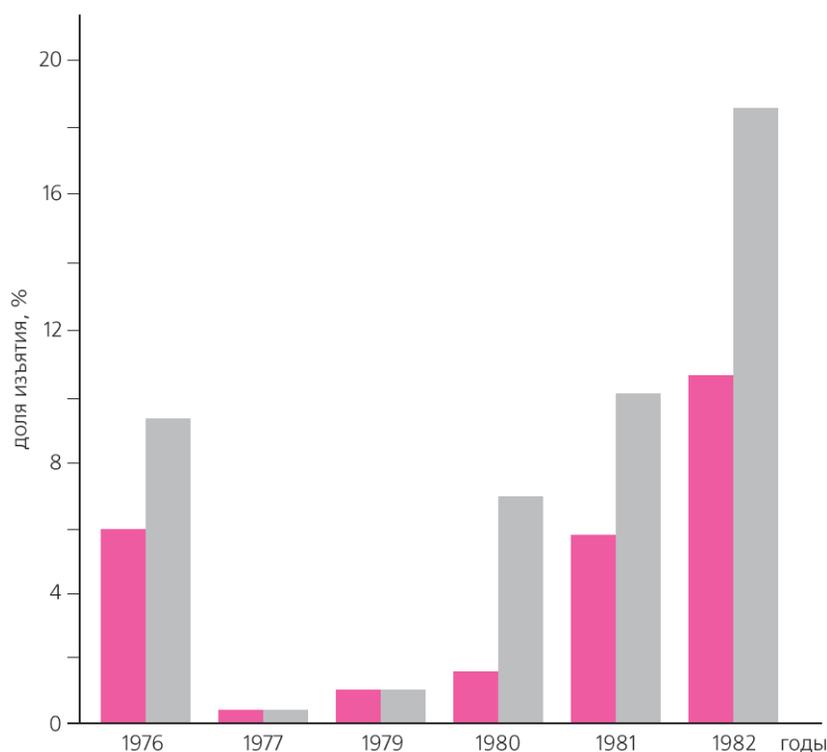
rius pomarinus, *S.longicaudus*), белая сова (*Nyctea scandiaca*) и песец (*Alopex lagopus*).

В фазе пика наиболее активен средний поморник (он съедает около половины леммингов, уничтожаемых всеми хищниками); в фазе роста (1980) наибольшее количество леммингов приходится на долю белой совы (54.5%), а при постепенном снижении численности — на долю песца (73.5%). Песец, кроме того, единственный, кто охотится на леммингов в фазе их депрессии, когда основные пернатые хищники в тундре не гнездятся.

Среди экологов нет единой точки зрения в отношении роли хищников как регулятора численности лемминговых популяций. Некоторые считают хищников одной из главных причин падения численности грызунов,



Численность хищников на о.Врангеля в 1976—1982 гг. Комплекс хищников, который составляют белая сова (1), средний (2) и длиннохвостый (3) поморники, а также песец (4), в полном объеме формируется лишь в те фазы цикла, когда плотность грызунов достаточно высока. Число размножающихся пар хищников в ходе популяционного цикла леммингов приведена по результатам абсолютных учетов на контрольном участке (около 60 км).



Количество сибирского (выделено цветом) и копытного леммингов, уничтоженных на о.Врангеля в 1976—1982 гг. Наиболее заметен пресс хищников в фазе подъема численности грызунов.

достигших стадии максимума. При этом полагают, что пернатые охотники в тундровых экосистемах лишь «срезают верхушку» в фазе пика, а все остальное приходится на долю песцов и мелких куньих.

На о.Врангеля нам удалось уточнить реальную величину потерь, которые несут грызуны от хищников в бесснежное время года. Она оказалась в три-четыре раза ниже тех цифр, которые приводятся в работах некоторых авторов по Северной Аляске и Канадскому арктическому архипелагу, районам, где видовой состав хищников почти такой же, как на о.Врангеля. Хотя наши подсчеты не позволяют считать хищников основной причиной падения численности леммингов, видимо, именно они, наряду с факторами демографического характера, сдерживают рост грызунов летом, несмотря на интенсивную репродукцию.

Картина, наблюдаемая на о.Врангеля, характерна лишь для подзоны арктических тундр и, возможно, для северной части типичных тундр. Во многих районах типичных и южных тундр набор пернатых хищников значительно беднее и их пресс явно ослаблен. Именно такая ситуация отмечена нами в Центральной Чукотке и в Чаунской низменности [4], а Ч.Кребс зафиксировал ее в субарктической части Северной Канады [5].

Оценивая участие хищников в динамике численности леммингов, следует признать, что арктические виды птиц и млекопитающие, издавна питающиеся этими грызунами, оказывают существенное влияние на их циклы. Однако роль хищников сводится главным образом к истреблению значительной части размножившейся популяции грызунов в фазе пика.

Другие внешние факторы

Массовые миграции норвежских леммингов (*Lemmus lemmus*) принесли этим зверькам широкую известность задолго до того, как ими заинтересовались ученые. На этот счет существуют многочисленные легенды и предания [1]. Действительно, норвежские лемминги, основные биотопы которых расположены в горных тундрах, в фазе пика во вторую половину лета и осенью сходят с обширных плато, следуя обычно по речным долинам в расположенную ниже лесную зону. Поскольку большинство зверьков при этом погибает, такие миграции естественно резко снижают численность популяции. Как показали наши наблюдения в тундрах северо-востока Сибири и анализ большого количества литературных источников, для сибирского и копытного леммингов характерны сравнительно короткие сезонные перекочки, которые существенно не меняют общий ход цикла.

В суровых, близких к экстремальным, условиях тундры, где обитают лемминги, климатическая обстановка, казалось бы, могла сказываться на их численности. На это имеется много указаний в литературе. Впрочем, исследования на о.Врангеля говорят о том, что глубина снежного покрова в местах зимнего обитания зверьков, температура воздуха и подснежная температура почти не меняются по годам и, следовательно, заметно не влияют на формирование циклов. То же самое можно сказать и о летних условиях, хотя и более изменчивых по сравнению с зимними.

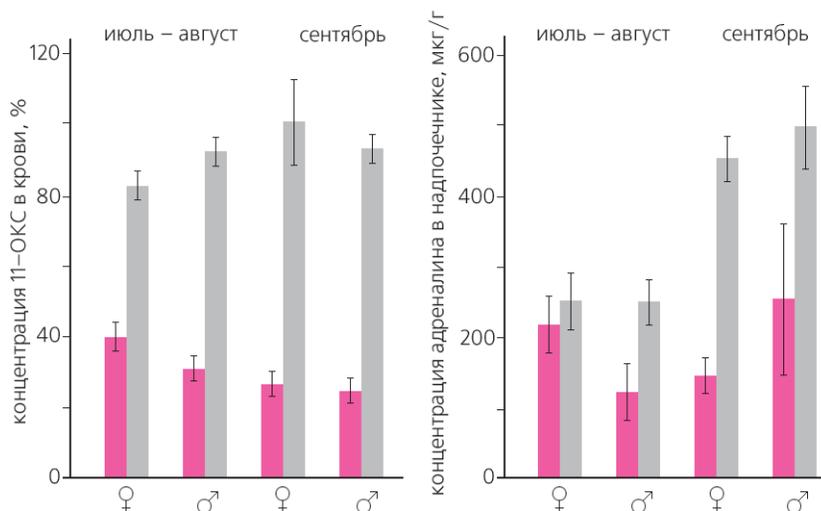
Во многих, особенно в ранних работах (1942) в качестве одной из основных причин «краха» лемминговых популяций часто упоминались эпизоотии. Действительно, эпизоотии туляремии могут поражать сильно размножившиеся попу-

ляции сибирского и копытного леммингов и служить причиной их массовой гибели. Однако природные очаги туляремии обнаружены не во всех районах тундры, к тому же хищники, уничтожающие в основном больных и ослабленных зверьков, сдерживают развитие эпизоотии.

Гипотезы авторегуляции

Традиционно в экологии факторы, влияющие на численность популяции, принято делить на внешние (погода, кормовые ресурсы, хищники, эпизоотии, паразиты, иногда межвидовая конкуренция) и внутренние, которые охватывают весь комплекс внутривидовых взаимодействий, включая физиологические и генетические изменения в ходе цикла, имеющие регуляторное значение. Попытки связать лемминговые циклы с отдельными внешними факторами среды или с их комплексом не имели успеха. В то же время выяснилось, что в ходе циклов у леммингов меняются популяционно-демографические показатели, прежде всего в зависимости от плотности зверьков и лишь потом — от внешних условий (пищи, хищников, погоды, болезней и пр.). Это позволило предположить, что лемминги, подобно многим другим полевым умеренных широт, обладают адаптивными механизмами авторегуляции. Концепция авторегуляции численности в природных популяциях животных в общем виде разработана В.Вини-Эдвардсом (1962). Применительно к циклическим колебаниям численности мышевидных грызунов эту концепцию развивали в 60–70-х годах Д.Кристиан и Д.Читти.

В целой серии публикаций Кристиана (его первая работа появилась в 1950 г.) подробно изложена гипотеза о возможных



Содержание оксикортикостероидов (11-ОКС) в крови и адреналина в надпочечниках у копытных леммингов о.Врангеля в 1975 г. (выделено цветом) и в 1976 г.

нейроэндокринных механизмах регуляции численности мелких грызунов. Хотя в основе этой гипотезы лежала общепризнанная теория Г.Селье о стрессе, она вызвала серьезную критику со стороны некоторых экологов, главным образом из-за недостатка фактических данных о стрессах в природных популяциях [6]. Поэтому исследования, касающиеся роли эндокринного комплекса в регуляции численности грызунов, не получили широкого развития.

При изучении гормональных перестроек в популяциях леммингов на о.Врангеля установлено, что на разных фазах цикла меняется функционирование не только отдельных желез, но и всего эндокринного комплекса. Наиболее заметно это проявляется в деятельности двух систем: гипофиз—надпочечник, которая наиболее активна в фазе пика численности, и гипофиз—гонады, доминирующая в период депрессии и роста. С динамикой функции надпочечника связана система гипофиз—щитовидная железа. Репродуктивный успех популяции во многом обеспечивается преобладанием адреналового или

гонадного фрагментов [3]. Обнаружены изменения не только морфологических (гистологических) показателей ряда эндокринных органов, но и некоторых биохимических параметров, определяющих уровень стресса в популяции [7].

Исследования в Колымской низменности выявили специфические отклонения ряда биохимических и гематологических показателей у сибирского лемминга, свидетельствующие о его повышенном популяционном стрессе в фазе пика [8]. Полученные данные позволяют заключить, что эндокринный комплекс — важная часть авторегуляторных механизмов, участвующих в формировании популяционных циклов леммингов.

Гипотеза Читти [9], которой придерживается большинство экологов, изучающих циклы мелких грызунов, также основана на идее авторегуляции и предполагает наличие в популяции генетического полиморфизма. В соответствии с данной гипотезой, рост численности прекращается из-за ухудшения качества популяции при повышенной плотности. Под качеством понимается

комплекс морфологических и физиологических признаков, а также передающихся по наследству и подверженных отбору. Важным элементом предполагаемого механизма регуляции численности служит территориальное поведение зверьков, в разной степени агрессивное и определяющее в итоге демографические свойства популяции.

В отношении тундровых леммингов в настоящее время имеется немного фактов, которые могли бы подтвердить правильность обсуждаемой гипотезы. Повышенная агрессивность зверьков при максимальной численности хорошо известна зоологам. Характерное для большинства мелких грызунов повышение средней массы в фазе пика и понижение ее в фазе депрессии (так называемый эффект Читти) в полной мере свойственны леммингам. Правильное чередование темпов такого роста в соответствии с фазами цикла можно рассматривать как показатель генетического разнообразия популяции при разной численности.

Таким образом, если роль эндокринного комплекса в регуляции численности леммингов подтверждается фактами, участие генетических перестроек в авторегуляторных реакциях предстоит еще изучить. При этом вполне можно допустить, что оба механизма авторегуляции действуют совместно.

В литературе, посвященной циклам мелких грызунов, появляется все больше работ, ставящих под сомнение реальность гипотезы Читти. В качестве примеров можно привести работу Н.Стенсета (1985) по моделированию циклов, а также эксперименты Р.Бунстры и П.Боага (1987) по выявлению наследуемости некоторых демографических признаков у циклирующей пенсильванской полевки. Да и сам Читти в своей последней книге [10] указывает на существенные трудности, возникающие при попытках экспериментальной проверки своей гипотезы.

Многофакторная модель циклов

Обычно экологи для объяснения феноменологии и механизмов популяционных циклов мелких грызунов используют два методологических подхода: один предусматривает поиск единого механизма, лежащего в основе циклов, другой допускает возможность взаимодействия ряда факторов. Согласно современным представлениям о структуре и функционировании сообществ и экосистем, взаимодействие факторов в динамике численности популяций скорее правило, чем исключение. Значит, численность большинства животных-фитофагов регулируется за счет внутриво-

пуляционных механизмов и отражает многочисленные биоценотические связи.

Огромный репродуктивный потенциал леммингов (реализуемый, в частности, за счет подснежного размножения), позволяющий им существовать в суровых условиях тундры, обуславливает наличие того или иного механизма контроля над численностью. Без этого достаточно скудный растительный покров тундры мог бы исчезнуть бесследно. Такого, как мы знаем, не происходит. Ряд внешних факторов в фазе пика значительно повышает смертность в популяциях леммингов, а адаптивные механизмы внутривопуляционной регуляции (эндокринные и, возможно, генетические) воздействуют на все демографические параметры. В итоге численность грызунов периодически пульсирует с примерно равными промежутками между пиками. С точки зрения изложенных представлений популяционные циклы — это результат многоуровневых адаптивных реакций и связей, явление, в котором организменные и популяционные механизмы связаны с процессами, происходящими в биоценозе. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 93-04-07962 и 02-04-48024.

Литература

1. Чернявский Ф.Б. Загадка лемминговых циклов // Природа. 1968. №12. С.45—50.
2. Stenseth N., Ims B. (Ed.) The biology of lemmings // Lin. Soc. Symp. Acad. Press. 1993. №15.
3. Чернявский Ф.Б., Ткачев А.В. Популяционные циклы леммингов в Арктике. Экологические и эндокринные аспекты. М., 1982.
4. Чернявский Ф.Б. и др. // Фауна и экология млекопитающих северо-востока Сибири. Магадан, 1995. С.82—92.
5. Krebs C.J. // Techn. Paper Arct. Inst. North Amer. 1964. №15.
6. Lee A.K., McDonald J.K. // Oxford Rev. Reprod. Biol. 1985. V.7. P.261—304.
7. Чернявский Ф.Б., Дорогой И.В. и др. // Доклады АН СССР. 1978. Т.242. №3. С.730—733.
8. Чернявский Ф.Б., Лазуткин А.Н. // Сиб. экол. журн. 1999. №1. С.99—105.
9. Chitty D. // Canad. J. Zool. 1960. V.38. №1. P.99—113.
10. Chitty D. Do Lemmings Commit Suicidal? Beautiful Hypothesis and Ugly facts. Oxford, 1996.

Колонии морских птиц острова Талан: разрешающая сила постоянства

А.В.Андреев, Е.Ю.Голубова, А.С.Китайский

Небольшой остров Талан в северной части Охотского моря — родина миллионов морских птиц. Нигде более столь многочисленны их поселения не находятся в такой близости от наземных путей сообщения и аэродромов. Расположенный на западной окраине Тауйской губы, примерно в 100 км от Магадана, остров виден ясными вечерами на горизонте с берега бухты Нагаева. Хотя о.Талан расположен всего в 45 км от пос. Балаганное и в штилевую погоду на моторной лодке туда можно добраться всего за полтора часа, до 1986 г. биологи его не посещали и о существовании на нем крупных птичьих базаров было известно лишь понаслышке.

Между тем уже древнее население берегов Мотыклейского залива устраивало на острове промысловые стоянки. Это были носители токаревской культуры, сложившейся на берегах Охотского моря около 2,5 тыс. лет назад. Добраться сюда неолитические охотники могли на кожаных байдарках, преодолев за час-полтора пролив шириной около семи километров. Позднее, 700—900 лет назад, то же самое делали береговые коряки, пришедшие на смену старинным охотникам [1]. Во все времена риск



Александр Владимирович Андреев, доктор биологических наук, заведующий лабораторией орнитологии. Область научных интересов — адаптация и выживание птиц в условиях Севера, формирование субарктических авифаун, охрана редких видов.



Елена Юрьевна Голубова, старший научный сотрудник той же лаборатории. Научные интересы связаны с экологией и продуктивностью морских птиц Северной Пацифики.



Александр Станиславович Китайский, доктор философии, профессор кафедры зоологии Университета штата Вашингтон (Сиэтл, США). Занимается изучением физиологии, поведения и размножения морских птиц в условиях меняющегося климата в северной части Тихого океана.

© А.В.Андреев, Е.Ю.Голубова,
А.С.Китайский



Остров Талан с высоты птичьего полета.
Здесь и далее фото А.В.Андреева

морского путешествия был оправдан: обилие на острове морской птицы, рыбы, моллюсков, морошки, кедровых орехов и корниев при почти полном отсутствии «кровеносов» гарантировало несколько недель безмятежной жизни и богатые запасы провизии на зиму.

Однако особенно широкий размах островные промыслы приобрели в годы социалистического освоения дальневосточного Севера, когда в дополнительных источниках пищи особой нужды не было, но велика была тяга «пожить на просторе». В 1960—1980-е годы с открытием навигации (начало июня) гнездовья морских птиц подвергались промысловым набегам «шаркетного флота», а в июле—августе, в период лососевой и крабовой путины, на остров высаживались «сенокосчики» из промысловых товариществ.

В июне 1986 г. мы впервые попали на Талан и убедились в справедливости рассказов о его самобытности. Уже в следующем году там была учреждена биологическая станция нашего института и начаты работы по экологии морских птиц. В 1991 г. остров был объявлен

памятником природы республиканского значения, а его охрана возложена на институт. Основное направление проводимых работ — мониторинг размножения морских птиц и динамики их численности, который ведется с 1987 г. Программа включает также изучение динамики популяционных параметров и пищевых связей модельных видов.

Накопившиеся за этот период сведения характеризуют, с одной стороны, состояние самих птиц — важного компонента природного наследия и экологического баланса тихоокеанского Севера, с другой — отражают состояние экосистемы Северо-Охотского шельфа. Морские птицы всегда были и остаются его важнейшей частью. Многолетние наблюдения выявили любопытные закономерности, описанию которых посвящена наша статья.

«Биокультиватор» в холодных водах

Для России Охотское море — важнейший промысловый водоем, почти целиком лежащий в ее экономической зоне, к счастью,

пока мало загрязненный. Однако в масштабах Тихого океана это относительно небольшой (около 1.6 млн км²) и не очень глубокий (в среднем 777 м) залив в его северо-западной части.

Значительный период года Охотское море сковано льдами. Его температурный режим определяется круглогодичным притоком холодных глубинных вод со стороны Тихого океана и охлаждающим действием Сибирского антициклона в зимний период. Потому, несмотря на расположение в относительно низких, бореальных широтах, это очень холодный водоем, населенный холодоустойчивыми видами растений и животных.

В поверхностных горизонтах Охотского моря существует обширное круговое течение, порождаемое оттоком к югу охлажденных в течение зимы водных масс. Эти потери возмещаются притоком тихоокеанских вод через северные Курильские проливы, чем и определяется существование в Охотском море береговых течений, апвеллингов, круговоротов и гидрологических фронтов [2]. На участках, где ветви локальных течений встречаются друг друга или существует значительный перепад морских глубин, создаются условия для повышения биологической продуктивности.

Один из таких участков расположен возле п-ова Пьягин и Ямских о-вов, у входа в залив Шелихова. Следуя круто повышающемуся профилю дна, глубинные воды выходят на поверхность и дают начало Ямскому течению, которое подхватывается еще более мощными приливно-отливными движениями (их амплитуда достигает 7—9 м) и устремляется к западу со скоростью 8—12 км/ч. На пространстве, отделяющем Ямской архипелаг от Тауйской губы, протяженностью около 350 км неровные очертания берегов и постоянные ветры усиливают турбулентность потока. В составе фитопланктона весной доминируют океанические

диатомей из родов *Chaetoceros* и *Thalassiosira*, а летом — *Ceratium* и *Peridinium*. Фоновый уровень первичной продуктивности в этих водах весьма высок — в среднем до 1000–1500 мг С /м³; при этом фоновые значения в более спокойных акваториях Охотского моря составляют всего 200–500 мг/м³ [3].

Западнее о.Завьялова холодное Ямское течение (5–7°С) встречается с более теплыми водами Тауйской губы (10–14°С), формируя гидрологический фронт и циклонический круговорот, затягивающий пьегинские воды в глубину. На южном фланге Ямского течения — там, где оно сталкивается с более теплыми водами Охотоморского шельфа, — возникает второй гидрологический фронт. В дополнение к этому в Тауйской губе есть еще один источник рекордно высокой продуктивности — неритовый (шельфовый) фитопланктон, который «расцветает» в начале лета вблизи опресняемых речным стоком побережий. В Мотыклейском и Амахтонском заливах (западная часть Тауйской губы) биомасса диатомей (роды *Chaetoceros*, *Coscinodiscus* и *Thalassiotrix*) достигает рекордно высоких значений — 12–15 г/м³ [5].

На такой щедрой основе развиваются пелагические и бентосные сообщества Тауйской губы, формируются пищевые цепи и возникает промысловое изобилие. Во внешней части губы фоновая плотность зоопланктона в слое 0–50 м составляет 0.5–1 г/м³, а максимальная может доходить до 5–9 г/м³ [4]. В составе мезопланктона (беспозвоночные величиной 1–10 мм) доминируют copepodы — веслоногие рачки холодноводного арктобореального комплекса — *Metridia ochotensis*, *Calanus glacialis*, *Pseudocalanus minutus*, *Acartia longiremis*, личинки эвфаузид (*Thysanoessa raschii*) и десятиногих раков (*Decapoda*).



Побережье п-ова Кони, омываемое водами Ямского течения.



Ямские о-ва.

В составе макропланктона (объекты крупнее 1 см) абсолютно преобладают те же эвфаузида, но уже взрослые. Кроме того, достаточно обычны гиперииды (*Paratemisto libellula*), щетинкочелюстные (*Parasagitta elegans*) и креветки (*Pandalus goniurus*) [4]. В начале лета весьма обилён крылоногий моллюск (*Limacina belicina*), заполняющий толщу поверхностных вод с плотностью до 200 экз./м³.

Попадая в участки вихревых течений и гидрологических фронтов, зоопланктон формирует плотные скопления, привлекающие молодь рыб, а вслед за нею и морских птиц. Расположение этих полей варьирует по годам и зависит от характера сезона, который может быть либо гидрологически теплым, либо холодным. В холодные годы основной очаг обилия зоопланктона формируется в срединной части Тауйской губы [5].

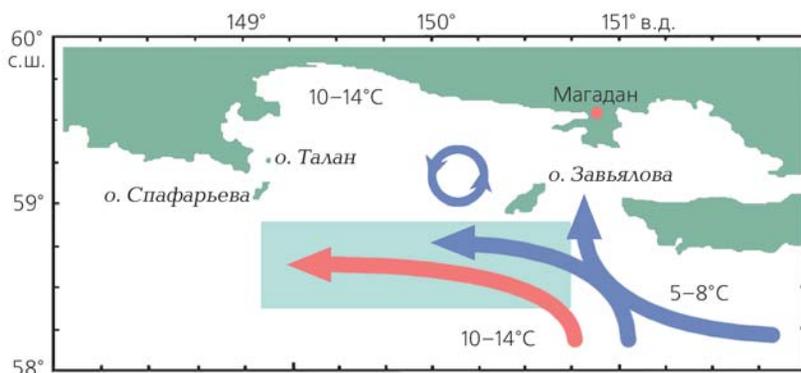


Схема течений в Северном Охотоморье.

Другая область изобилия зоопланктона развивается вблизи о.Талан — на границе вод Мотыклейского залива и Тауйской губы, где концентрация веслоногих рачков и эвфаузид достигает 3—9 г/м³ [4].

Не удивительно, что в таких участках концентрируются нагульные косяки пелагических рыб — минтая, песчанки и сельди. Обширные и хорошо прогреваемые прибрежные мелководья Амахтонского залива — важнейший нерестовый район для мойвы. В летний период по всей акватории Тауйской губы много молодежи наваги [6]. Вообще же в водах Тауйской губы обнаружено 111 видов рыб, относящихся к 77 родам и 29 семействам, включая целый ряд эндемичных видов [7].

На таком биотическом фоне и размножаются морские птицы о.Талан. Однако фон этот весьма переменчив, и процветание популяций может вдруг оказаться весьма призрачным, поскольку обилие корма не всегда означает его доступность. Внушительная численность морских птиц — это результат череды удачных сезонов, когда и погода, и природа способствовали успешному размножению и выживанию птиц. Небольшие различия в датах разрушения ледового покрова, температуре или солености вод могут привести к заметным колебаниям численности морских птиц. Более то-

го, климатические причуды последних лет привели некоторые популяции морских птиц на грань исчезновения. Но прежде чем рассказать об этом, уместно ближе познакомиться с объектами наших исследований — морскими птицами Северо-Охотского шельфа и их важнейшим плацдармом — о.Талан.

Многообразие форм и обилие чисел

Протяженность континентальных берегов Охотского моря составляет около 8,6 тыс. км, а островных — до 1,7 тыс. км. На скалистых участках побережья найдено не менее 600 колоний морских птиц общей численностью около 12,8 млн особей [8—11]. Большинство из них — около 9,5 млн особей, или 75% — приурочено к северной части Охотского моря: Ямскому архипелагу (7,5 млн), заливу Шелихова (0,75 млн), о. Талан (1,3 млн), побережью и островам Тауйской губы (0,05 млн). Птичьи базары состоят в основном из птиц семейства чистиковых (97%), а также трубконосых (глупышей, качурок), веслоногих (бакланов), чаек (моевки, тихоокеанской чайки).

Чистики (Alcidae) — типичные морские птицы, внешне напоминающие миниатюрных (от 80 до 1200 г) пингвинов, не утративших способности к полету

(быстро, прямолинейному и маломаневренному). В отличие от чаек и поморников, с которыми чистики состоят в близком родстве, они научились прекрасно плавать под водой и нырять. Способность быстро адаптироваться к водным условиям жизни привела к активному видообразованию — наиболее разнообразны и многочисленны они в Северной Пацифике. В настоящее время известно 23 вида из 11 родов (еще один вид — бескрылая гагарка, обитавшая в Исландии и весившая около 5 кг, — был уничтожен в начале XIX в.). Из них 18 видов — автохтоны тихоокеанского Севера, распространение трех видов ограничено Северной Атлантикой, а еще три вида обитают в районах, примыкающих к Полярному кругу. Для чистиковых птиц характерна веретеновидная форма тела, плотный перьевой покров, короткий хвост, перепончатые лапы и относительно узкие крылья, складывающиеся в подобие весел при нырянии.

Большую часть года чистиковые птицы проводят в стаях, придерживаясь пелагических вод или вблизи ледовой кромки. В период размножения поселяются колониями на скалистых островах и побережьях, как правило, в областях высокой продуктивности моря. К размножению обычно приступают на третий год жизни. У большинства видов кладка состоит только из одного яйца. В насиживании (четыре—пять недель) и кормлении птенцов (еще месяц—полтора) участвуют оба родителя.

По характеру питания чистиковые птицы подразделяются на две группы. Ихтиофаги выкармливают птенцов мелкой рыбой. В эту группу входят, например, кайры, тупики и старики. Представители другой группы — планктонофаги (например, коноги) — питаются зоопланктоном. Для транспортировки рассыпчатого или желеобразного корма они используют вместительные подъязычные мешки —

еще одно немаловажное эволюционное приобретение чистиковых птиц. На островных колониях Северного Охотоморья виды-планктонофаги абсолютно преобладают (75% от общей численности колоний на о.Талан, 95% — на Ямских о-вах). На береговых колониях планктоноядные чистики поселяются редко: там нет необходимых условий для успешного размножения, которое обеспечивается близостью зон апвеллинга и гидрологических фронтов. Обе группы зависят от обилия планктона в близлежащих акваториях, но зависимость эта противофазная. По нашим данным, в годы, благоприятствующие ихтиофагам, планктонофаги оказываются угнетенными, и наоборот. Попробуем разобраться с причинами этого любопытного явления.

Талан и его акватория

Остров — это скалистый останец площадью около 2×1.2 км² и высотой до 220 м. Его вершина занята пологим плато с каменистыми грядами и болотистыми луговинами. С трех сторон (южной, западной и восточной) берега Талана — крутые каменистые осыпи или отвесные скалы высотой до 150 м, а самая кромка берега обрамлена глыбами и рифами, изрезана множеством мелких бухт и испещрена гротами.

В северо-западной части находится невысокая луговая терраса с пресными озерками, охваченная полукольцом каменистой литорали. Здесь можно высадиться с корабля, посадить вертолет, и здесь же расположена орнитологическая станция.

Список таланской флоры включает около 120 видов сосудистых растений, причем ее состав заметно обеднен чрезмерной нитрификацией почв птичьими экскрементами. На склонах густо разрастается вейник, а среди скалистых осыпей — щитовник. Вершинное плато



Очковый чистик — эндемик охотоморских берегов.



Гнездовья кайр на скалистых полках в южной части острова.

представляет собой обедненный вариант береговых склоновых тундр с густыми куртинами кедрового стланика, злаково-осоковыми луговинами и кустарничковыми полянами. Там, где приморская терраса переходит в крутизну склона, развиты торфяные бугры, поросшие шведским дереном, а пляжи морского берега окантованы луговинами иван-чая, колосняка и крестовника.

Среднегодовая температура воздуха составляет -2.3°C . Наиболее холодный месяц — январь (-15.8°C). Лед в таланской акватории устанавливается в середине декабря, а разрушается не раньше мая — начала июня. В феврале-марте с некоторой осмотрительностью на остров можно прийти пешком или на лыжах. Наиболее теплый месяц — август (10.6°C). Летом преобладают юго-западные вет-



Птица общительная и подвижная, большая конюга селится плотными колониями.



На заходе солнца ее стаи возвращаются на остров, и это наиболее удобный момент для подсчета численности птиц.



Роение большой конюги продолжается до глубоких сумерек.

ры; причем в послеполуденные часы нередко возникают местные бризы, разгоняющие опасную волну.

К августу поверхность воды прогревается до 12–14°C. На глубинах более 20 м температура воды круглый год остается близкой к 0°C. Напомним, что остров омывается западной ветвью Ямского течения, несущего обогащенные планктоном воды Тауйской губы в открытую часть Охотского моря. Кроме того, с мая по сентябрь близлежащие воды насыщаются птичьими экскрементами, стимулирующими, как известно, круговорот пелагической жизни. В составе зоопланктона таланских вод преобладают арктические виды мелких копепод — *Acartia longiremis* и *Pseudocalanus minutus* [1]. В дополнение к этому на каменистых литоральных о.Талан найдено 62 вида морских беспозвоночных, относящихся к 34 отрядам и 19 классам [1]. Среди них наиболее заметны актинии, полихеты, сипункулиды, усоногие и равноногие рачки, а также амфиподы и декаподы. Многочисленны брюхоногие и двустворчатые моллюски — литторины, нуцеллы, мидии. Наиболее богата беспозвоночными западная литораль.

В близлежащих водах водится 32 вида рыб из 19 семейств [1]. Наиболее обычны молодь тихоокеанской сельди, мойвы и минтая, а также треска, песчанка и морской ерш. На острове встречается 147 видов птиц [1], в основном пролетных, использующих этот клочок суши для кратковременной остановки и отдыха. Гнездовая фауна насчитывает только 21 вид, из которых 11 — морские колониальные птицы.

Берингов баклан. На острове гнездится всего 100–120 пар. Основные гнездовья этой птицы расположены на скалах побережья и о.Умара в восточной части Тауйской губы (залив Одян).

Тихоокеанская чайка — процветающий вид азиатских

побережий Северной Пацифики. На Талане гнездится около 600 пар, но самое впечатляющее поселение этого вида (свыше 2 тыс. пар) расположено на о.Шеликан в Амахтонском заливе западной части Тауйской губы. Птицы буквально вытоптали растительность на островке, который еще в конце 1980-х был покрыт живописным каменно-березовым лесом. К береговым колониям тихоокеанской чайки часто приурочены гнездовья белоплечего орлана — другого эндемика наших дальневосточных берегов.

Моевка. На островах и побережьях Северной Охотии гнездится около 40 тыс. пар этой птицы, из них 17,5 тыс. пар — на скалах и кекурах Талана.

Очковый чистик — приметный, но не очень многочисленный обитатель таланских гнездовий, еще один эндемичный вид дальневосточных побережий. Его общая численность на Северо-Охотском побережье составляет около 4 тыс. пар, а самые крупные колонии расположены на о.Матыкиль в Ямском архипелаге (2 тыс. пар). На Талане, в трещинах скал и осыпях южной части, гнездится от 20 до 50 пар.

Тонкоклювая и толстоклювая кайры заселяют скальные стенки и ущелья южной и восточной стороны острова. Их численность достигает 25 тыс. пар — примерно 5% от всех кайр на Магаданском побережье. Наиболее крупные колонии расположены на Ямском архипелаге (около 215 тыс. пар) и п-ове Тайгонос (около 160 тыс. пар).

Большая конюга не самый крупный (250—350 г), но самый приметный и наиболее многочисленный обитатель таланских гнездовий. По различным оценкам, на острове гнездится от 350 до 500 тыс. пар. Днем в поисках корма птицы улетают в море на многие десятки километров, а вечером возвращаясь на остров, устраи-

вают в небе эффектное роевое. До глубоких сумерек кружат над островом десятки тысяч птиц, завораживая взор синхронностью движения и внезапностью его перемен. Эта гигантская стая то предстанет шаром, то скрутится жгутом, то вдруг спикирует к морю или взмоет к скалам. Поселяется эта голосистая птица среди каменных осыпей, образуя плотные многоэтажные колонии. Единственного птенца родители выкармливают в течение месяца крилевым пюре, в составе которого преобладают крупные калянусы и эвфаузиды. Этот корм родителям приходится транспортировать на дальние расстояния.

Белобрюшка — небольшой чистик (220—320 г) — гнездится рассеянными сообществами по всему периметру острова от береговых пляжей до вершинного плато. Таланская популяция насчитывает 12—15 тыс. пар. Это второе по величине поселение белобрюшки в Охотском море (более крупное существует на Ямских о-вах). Кормится она личинками рыб, гребневиками и медузами.

Старик — также некрупный чистик (180—290 г), встречающийся в море обычно небольшими стайками, но не часто и обычно на значительном удалении от берегов. На Талане существует крупнейшая (по приблизительным оценкам, около 10—12 тыс. пар), если не единственная, гнездовая колония этого вида в северной части Охотского моря. Старики гнездятся в неглубоких норах, которые устраивают среди вейниковых дернин на крутых склонах в западной части острова. Питаются мелкой рыбой и эвфаузидами, и ими же, судя по всему, родители выкармливают птенцов. Тысячи птиц появляются вблизи Талана лишь около полуночи, в кромешной темноте, оглашая окрестности пронзительным верещанием. В противоположность другим видам чистиков, старики откладывают от од-



Белобрюшка.

ного до трех (обычно два) яиц. Птенцы вылупляются во второй половине июля, но пуховички не задерживаются в гнезде, а в возрасте двух-трех дней уходят с родителями к морю. Этот момент весьма драматичен. Движение птенцов начинается около полуночи и продолжается до предзвездных сумерек. Ведомые сквозь непроглядный мрак родительским голосом старичата катятся вниз по склонам, бьются о кочки, протискиваются сквозь расщелины камней, карабкаются по валунам бечевника и, наконец, отчаянно бросаются в буруны прибойных волн. За полосой наката их поджидают родители, а чуть дальше — в надежде на легкую добычу — покачиваются на волнах крупные чайки. Поэтому, чем ненастнее ночь, тем больше у птенцов шансов остаться в живых. На пути от гнезда к морю старичат можно посчитать, построив вдоль склона невысокие загородки с проходами. По данным таких учетов, в течение 1990-х численность гнездовой колонии старика на Талане снизилась почти вдвое.



Старика можно увидеть на гнездовой колонии лишь глубокой ночью.

Ипатка — довольно крупного размера (440—620 г) рыбацкий чистик черно-белого окраса с экстравагантным оранжевым клювом. Ближайшая родственница атлантического тупика, она поселяется в отличие от него не в норах, а среди обломков скал, по каменистым осыпям и дайкам — от берегового пляжа до вершины острова. Гнездовая численность ипатки достигает 30—40 тыс. пар. Кормится на небольшом удалении от острова, вылавливая молодь сельди и песчанку.

Топорок — второй по массовости в островной экосистеме и сравнительно крупный вид (650—880 г). Его численность оценивается в 40—60 тыс. пар, и это наиболее крупное поселение вида в Охотском море. Гнездится везде, где толща торфяной дерновины позволяет выкапывать норы, для чего птица использует, в частности, свой ярко-оранжевый клюв, обводы которого повторяют форму штыковой лопаты, и вооруженные прочными когтями лапы. Кроме того, клюв — оружие турниров в начале сезона гнездования. Экстравагантная форма клюва не препятствует его

главному назначению — захватывать и удерживать добычу. Питается топорок сельдью, песчанкой и мойвой, отыскивая их косяки в открытом море. Ведя «промысловую разведку» и доставляя пищу птенцу на колонию, топорки совершают перелеты протяженностью в несколько десятков километров. Они ходят лучше, чем летают, и всякий взлет для них событие, требующее подготовки. Наиболее удобны для взлета уступы скал или береговые кручи, куда поколениями топорков натоптаны тропы и откуда они падают, набирая необходимую для полета скорость.

Динамика численности морских птиц

Год на год не приходится, особенно на берегах холодных морей, вблизи атмосферных минимумов и гидрологических фронтов. Каждый из сезонов размножения морских птиц отмечен чертами неповторимости. Простая фиксация условий погоды и реакций морских птиц приносит неожиданно

интересные результаты. Чем меньше перерывов в летописи, тем ценнее итог и любопытнее выводы.

С ноября по май акватория Тауйской губы скована льдами. По данным ледовой разведки и океанографической съемки, в гидрологически теплые годы Тайуская губа освобождается ото льда в период между 7 и 14 мая, т.е. сравнительно рано. Так было, например, в 1989, 1990, 1991, 1994 г. Позднее такие сезоны характеризовались более высокими температурами поверхности моря (10—12°C) и преобладанием ветров юго-западного направления. При этом толща вод сильнее перемешивалась, температурная стратификация продуктивного слоя отсутствовала. В гидрологически холодные годы кромка льдов отступала к югу на две-три недели позднее, поверхность моря в летние месяцы нагревалась слабее (7—8°C). При этом на глубине 20—30 м возникал температурный скачок, а в центре — циклонический круговорот. В такие годы (например, 1988, 1992, 1993) преобладали ветры северных румбов.

По многолетним данным статистики, число поднявшихся на крыло молодых птиц в теплые и холодные годы различно. Так, в холодные годы удача сопутствовала планктоноядной большой конюге, а в теплые — рыбаждному топорку. Чтобы объяснить это явление, сравним данные о распределении зоопланктона в холодные и теплые годы.

По данным промысловой разведки, в холодные годы участки повышенной концентрации мезо- и макропланктона отчетливо приурочены к круговому течению в центре губы, оставаясь там, как в ловушке, запертой гидрологическими фронтами. В теплые годы, когда тауйский круговорот выражен менее отчетливо, очаги концентрации мезо- и макропланктона оказывались разобщенными. Первый накапливался в наибо-

лее западной (Мотыклейском заливе) и наиболее восточной (заливе Одян) частях губы, привлекая своим обилием молодь рыб. Между тем район концентрации макропланктона распределялся вдоль южной границы Ямского течения, к югу от Тауйской губы.

Дело в том, что в теплые годы макропланктон распределен равномерно по акватории и нигде в доступных конюгам пределах не образует значительных скоплений. В то же время мезопланктон (комплекс *Acartia* spp) достигает в Тауйской губе высокого обилия, особенно в прибрежных участках, привлекая сюда молодь рыб. Для конюга же этот корм слишком мелок.

Таким образом, в теплые годы поля макропланктона располагались на значительном удалении от таланских гнездовий, и это обстоятельство отрицательно влияло на успех размножения большой конюги. В составе питания ее птенцов преобладает *Thysanoessa raschii*, на долю которой приходится не менее двух третей рациона в любом сезоне. Однако только в холодные годы в центральной части губы существовали устойчивые скопления макропланктона, необходимые для эффективного питания конюг. Хотя дальность полета к месту кормежки могла достигать 50 км, индивидуальные транспортные издержки, судя по всему, не были чрезмерными, а улов — достаточно велик и, что не менее важно, — предсказуем.

В неудачные для топорка холодные годы разнообразие птенцовой диеты возросло примерно вдвое, хотя основу питания всегда составляли сельдь и песчанка. Вместе с тем количество пищи, доставляемое птенцам, в эти годы оказалось меньше, чем в теплые. В обоих случаях птицы приносили примерно одинаковое количество сельди, но песчанки было заметно больше в теплый год, когда концентрация ее нагульной молодежи приходилось на очаги раз-



Топорок.



Ипатка.

вития мезопланктона. Это благоприятствовало добыванию рыбы топорками и положительно сказывалось на успехе их размножения.

Вообще же чистики — птицы-долгожители. Живут они до 20—25 лет, поэтому потерю птенцов в неблагоприятные годы могут восполнить в любой подходящий момент. Этим обеспечивается многолетняя устойчивость их популяций.

Климатические изменения разрушают устоявшийся сценарий

С конца 1990-х признаки глобальных перемен появились и в холодном Охотском море. По данным разведки, море становится менее ледовитым [12]. В водах Тауйской губы стала появляться кефаль — субтропический вид, не встречавшийся ранее севернее устья

Амура [13]. В дополнение к этому появились первые сообщения о заморных явлениях в изолированных прибрежных лагунах залива Шелихова, вызванных, по всей вероятности, необычайно высоким летним прогревом мелководий и «цветением» микроскопических водорослей.

В 1999 г. состояние атмосферы препятствовало развитию весенних циклонов, и — впервые за весь период метеорологических наблюдений — разрушение ледового покрова в северной части Охотского моря затянулось до второй половины июня. В 2001 г. подобное явление повторилось: до начала июля в акватории Тауйской губы стояли ледовые поля. Эти перемены отразились на сроках гнездования морских птиц и соответственно на их приплоте. Например, в 1999 г. топорки приступили к гнездованию на две недели позже обычного, а когда у них появилось потомство, в акватории гу-

бы уже не осталось крупных скоплений песчанки — основного корма птенцов в другие годы. Молодь минтая, составлявшая ранее заметную долю в рационе топорка, тоже исчезла (скорее всего — в результате перепромысла этого вида во второй половине 1990-х годов.). В результате родители топорки приносили птенцам только крупную сельдь, вследствие чего те погибали от голода, заваленные слишком крупной добычей.

Летом 2001 г. след за поздним таянием льда пришла необычайно жаркая погода. Поверхность моря в июле нагрелась до 16—18°C, вследствие чего холодолюбивые планктонные организмы ушли на глубину и стали, судя по всему, почти недоступны нашим чистикам. Несмотря на теплый год, приплот у топорков оказался крайне низким, многие конюги бросили уже насиженные кладки, а популяцию белобрюшки ожидал полный крах: в контрольных

гнездах ни одного птенца на свет не появилось.

Как видим, небольшие изменения в сроках разрушения ледового покрова моря могут существенно повлиять на распределение зоопланктона и вызвать резкое снижение численности морских птиц в северной части Охотского моря. В какие-то годы преимущество получают рыбоядные виды, в другие — планктоноядные. Однако чрезмерные промысловые нагрузки на шельфовые экосистемы в 1990-х гг. и проявившиеся к концу 20-го столетия переменные климатического режима повлияли на состояние колоний только на одну — отрицательную — сторону. ■

Работа выполнена при поддержке Американской службы рыбы и дичи (1992—1995), Российского фонда фундаментальных исследований (1999), а также Магаданского областного комитета Минприроды (2000—2001).

Литература

1. Прибрежные экосистемы Северного Охотоморья: Остров Талан. Магадан, 1992.
2. Комплексные исследования экосистемы Охотского моря / Ред. В.В.Сапожников. М., 1997.
3. Маркина Н.П., Чернявский В.И. // Изв. ТИНРО. 1984. Т.109. С.109—119.
4. Афанасьев Н.Н., Михайлов В.И., Чевризов Б.П., Карасев А.Н. Условия формирования, структура и распределение кормовой базы молоди лососевых рыб в Тауйской губе Охотского моря // Биологические основы развития лососеводства в Магаданском регионе. СПб., 1994. С.25—41.
5. Kitaysky A.S., Golubova E.Yu. // Journal of Animal Ecology. 2000. V.69. P.248—262.
6. Шунтов В.П. Биологические ресурсы Охотского моря. М., 1985. С.1—223.
7. Черешнев И.А., Назаркин М.В., Скопец М.Б., Шестаков А.В. Биологическое разнообразие и биогеография пресноводных и морских прибрежных рыб Тауйской губы (север Охотского моря) // Наука на северо-востоке России. Магадан, 1999. С.150—165.
8. Шунтов В.П. Морские птицы Охотского моря // Морские птицы Дальнего Востока. Владивосток, 1986. С.6—19.
9. Голубова Е.Ю., Плещенко С.В. Колонии морских птиц северной части Охотского моря // Видовое разнообразие и состояние популяций околводных птиц северо-востока Азии. Магадан, 1997. С.141—162.
10. Вяткин П.С. Кадастр гнездовой колониальных птиц Камчатской области // Морские птицы Дальнего Востока. Владивосток, 1986. С.20—36.
11. Артюхин Ю.Б., Трухин А.М., Корнев С.И., Пуртов С.Ю. Кадастр колоний морских птиц Курильских островов // Биология и охрана птиц Камчатки. Вып.3. М., 2001. С.3—59.
12. Хен Г.В. Основные закономерности многолетних изменений ледового покрова Охотского и Берингова морей // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря / Под ред. В.В.Сапожникова. М., 1997. С.64—67.
13. Черешнев И.А., Шестаков А.В. // Вopr. ихтиологии. 2001. Т.41. №3. С.382—386.

Флора Северной Охотии и островной эффект

М.Г.Хорева

Острова северных морей не избалованы посетителями. Трудно найти попутный транспорт, еще сложнее выбраться оттуда. В связи с этим в общем потоке необозримой литературы, посвященной островной биогеографии, северные острова выглядят явно обделенными. Поэтому, закончив этап изучения флоры Северной Охотии, мы попробовали провести анализ флоры островов, в том числе оценить видовое разнообразие и выявить факторы, его определяющие. Помня о том, что количество видов в списке в большей степени зависит от числа ботанических экспедиций, побывавших на острове, нежели от его площади, высоты над уровнем моря или изоляции [1], мы неоднократно посещали острова для того, чтобы поискать «недостающие» виды или подтвердить их отсутствие. В настоящее время мы располагаем списками видов и соответственно количественной характеристикой видового богатства природной флоры побережья Северной Охотии, островов Тауйской губы, а также о.Маткиль из группы Ямских о-вов. Сравнение полученных результатов с основными представлениями равновесной теории островной биогеографии показало,

© М.Г.Хорева



Мария Геннадьевна Хорева, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории ботаники. Область научных интересов — флора сосудистых растений северо-востока Азии, география растений и флорогенез.

что наши острова мало что «слышали» об этой теории.

Флористические «портреты» островов

Охотский флористический район (Охотия) занимает северо-западное побережье Охотского моря — от окончания Удской губы до начала Гижигинской. На севере граница Охотии проходит параллельно линии побережья по Охотско-Колымскому водоразделу. Узкую полосу побережья (примерно на 50 км в глубь материка), насыщенную дальневосточными, японо-мань-

чжурскими видами, А.П.Хохряков выделил в Прибрежно-Охотский флористический район [2]. Этой территорией мы и ограничимся для сравнения островной и материковой флоры.

Своеобразие флоры Северной Охотии — гетерогенность, довольно высокий уровень таксономического разнообразия, наличие эндемичных и реликтовых видов — напрямую связано с ее пограничным положением между Восточной Сибирью и Камчаткой. По ряду признаков наша флора ближе к дальневосточной, хотя заметно влияние восточносибирской и берингийской. Молодые шельфовые ост-

рова, о которых пойдет речь, образовались в позднем плейстоцене и голоцене, поэтому здесь нет собственных эндемиков, а флора в целом представляет собой обедненный материковый вариант (на островах произрастает меньше половины видов растений, которые встречаются на побережье). Были обследованы острова Тауйской губы и Ямского архипелага.

Остров Завьялова — самый крупный из обследованных. В северной его части рельеф альпийский (максимальная отметка превышает 1100 м над ур.м.), в южной — сглаженный. В растительном покрове преобладают низкорослые кустарниково-кустарничковые сообщества с березой Миддендорфа (*Betula middendorffii*) и кедровым стлаником (*Pinus pumila*), сырые кочкарные и горные тундры. В защищенных от южных морских ветров местах мощно развиты каменище-березняки и заросли крупных кустарников — кедрового стланика, ольховника (*Duscbekia fruticosa*), — но они занимают относительно небольшую площадь.

Остров Спафарьева представляет собой два горных массива, соединенных низким галечным перешейком длиной более 1 км. Различия в составе флоры двух частей столь велики, что позволяют рассматри-



Северо-западное побережье Охотского моря. Цветом выделен Охотский флористический район, пунктиром отделен Прибрежно-Охотский флористический район.

вать их как два разных острова. Северная часть по составу растительных сообществ напоминает о. Завьялова, а южная — отличается преобладанием низкорослых кустарников (особенно стелющегося ольховника, стланика), кустарничков, сообществ горных тундр и лугов. Деревьев и крупных кустарников нет.



Острова Тауйской губы.

Остров Недоразумения покрыт каменной березой, она растет на всех склонах и даже на вершинном плато, что нехарактерно для других островов. На вершинном плато развиты также тундровые сообщества. Наиболее интересны оstepенные луга в нижней части южных приморских склонов.

Остров Талан населяет примерно 1 млн морских колониальных птиц, что сказалось на растительности склонов, заросших в основном вейником (*Calamagrostis langsdorffii*). На вершинном плато острова преобладают тундровые сообщества и низкорослые заросли кедрового стланика, и лишь на небольшом участке юго-западного склона, где птицы не гнездятся, наибольшее разнообразие видов и сообществ растений — от низовальных до ксерофитных.

Остров Умара расположен вблизи побережья п-ова Кони, с которым соединяется каменной косой во время максимальных отливов. Растительный покров разнообразнее, чем на о. Талан, хотя о. Умара значительно меньше. Здесь также есть колонии птиц, но их влияние нельзя назвать угнетающим, чего не скажешь о равном ему по площади о. Шеликан с крупной колонией тихоокеанской чайки. Флора здесь бедная, берега в основном скалистые, остальную территорию занимает лес из каменной березы с вкраплениями из лиственницы, а также сообщества вейника.

Вдовушка — маленький островок в окрестностях Магадана. Песчаная литораль, соединяющая его с берегом, всегда осушается в отлив, и тогда остров становится доступен для отдыхающих горожан.

Ямский архипелаг состоит из шести скалистых островов: Матюкиля, Атыкана, Барана, Хатемалью и двух небольших островов Коконце. Здесь находятся одни из крупнейших в Северной Пацифике колонии морских птиц, общая численность которых превышает 10 млн особей.

Растительность на скалах и осыпях всех островов представлена несомкнутыми травянистыми сообществами из нескольких десятков видов. Только на самом крупном о.Матькиль (максимальная отметка около 700 м над ур.м.) выше этого своеобразного травянистого высотного пояса, где влияние птиц ослаблено, расположены горные кустарничковые тундры, заросли низких кустарников и разнотравно-вейниковые луга.

Островной эффект

Разнообразие флоры того или иного острова может быть предсказано с помощью равновесной теории островной биогеографии, предложенной Р.Маккартуром и Е.Уилсоном [3]. Суть ее в том, что количество видов на острове определяется равновесием между вымиранием старых и заселением новых для него видов. Основная причина вымирания видов на острове — нестабильность мелких изолированных популяций, вызванная случайными флуктуациями численности, потерей генетического разнообразия, инбредной депрессией, чувствительностью к неблагоприятным воздействиям. Скорость иммиграции и скорость вымирания видов зависят от площади изолята и его удаленности от источника распространения диаспор. Чем меньше размер острова и чем дальше он удален от побережья и других островов, тем легче нарушается равновесие между процессами локального выпадения видов и их иммиграции, в результате чего снижается уровень видового разнообразия. Такое сокращение видового богатства и названо островным эффектом [2].

Работает ли теория равновесия в условиях того или иного острова, обычно судят по корреляции между числом видов, площадью и удаленностью изолята от источника распространения диаспор. Для более точного анализа вместо общего

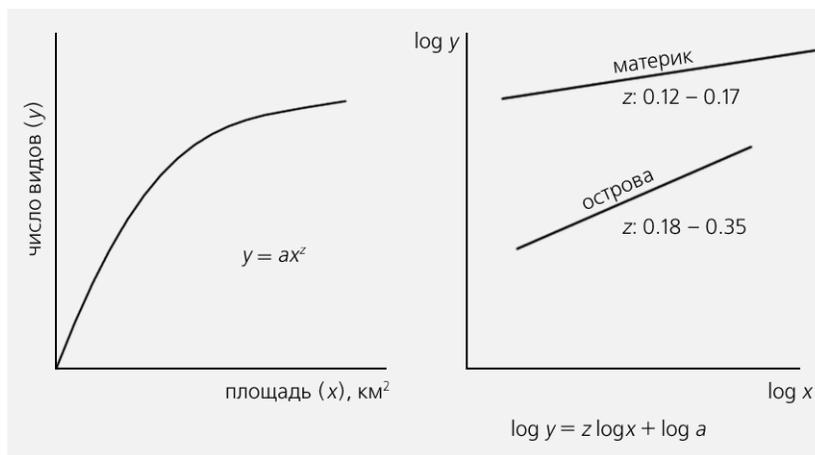
числа видов, обитающих на островах, учитывают виды определенных типов местообитаний, а еще точнее — их фиксированной площади. Однако во многих случаях отделить эффекты числа видов — площадь и число видов — расстояние от влияния параметров среды, по которым отличается один изолят от другого, практически невозможно. Чтобы исключить в анализе зависимость от среды, маскирующую островной эффект, можно попробовать оценить степень флористической неполноценности фитоценозов [4].

Первый неутешительный вывод: флора островов Северной Охотии не идеальный объект для тестирования теории равновесия. Во-первых, островов мало для статистики, во-вторых, все они очень разные по геоморфологическому строению (определяющему разнообразие экотопов), степени воздействия морских ветров на растительный покров и заселенности морскими колониальными птицами. Чтобы понять, насколько сложно отделить эффекты, которые должны учитываться в соответствии с теорией равновесия, от влияния других факторов, определяющих уровень видового богатства, обратимся к конкретным примерам.

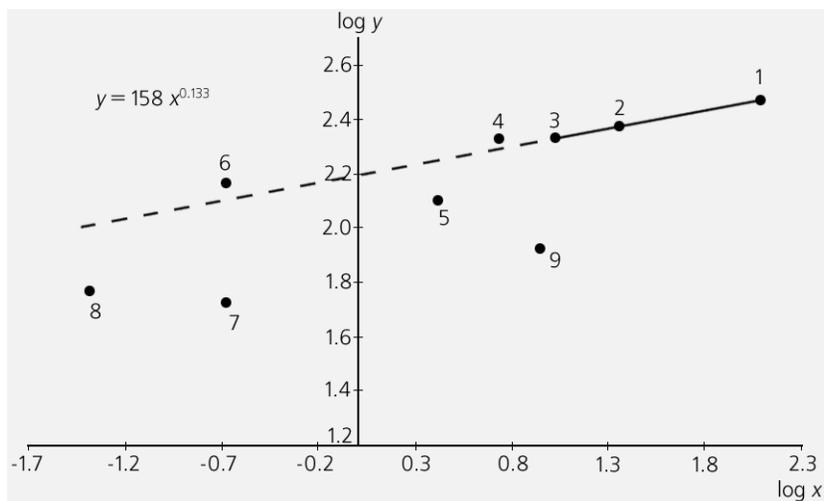
Число видов и площадь. Один из способов выявления островного эффекта основан на

сравнении графиков зависимости числа видов от площади для островов и произвольно выбранных участков материка. Эта зависимость обычно выражается степенной функцией, которая после преобразования в логарифмическую дает линейную зависимость. Во флористических работах используют уравнение Аррениуса: $y = ax^z$, где x — площадь (км²), y — число видов растений на этой площади, a — число видов растений на 1 км² (плотность флоры, или удельный уровень видового богатства), z — показатель пространственного разнообразия флоры [5]. Эмпирически установлено, что наклон прямых, который определяется величиной z , для островов более крутой, чем для материковых участков (поскольку эффект островной изоляции должен быть выражен сильнее на мелких островах, где вымирание вероятнее), а диапазон значений z для островов будет примерно равен 0.18—0.35, для материка — 0.12—0.17 [3]. Различия между графиками этих двух типов можно приписать островному эффекту в чистом виде.

Чтобы выявить зависимость между площадью острова и числом обитающих на нем видов, данные по девяти островным североохотским флорам были преобразованы в логарифмический вид и представлены в виде графика. На графике видно, что линейная зависимость между $\log x$



Зависимость число видов — площадь. Пояснения в тексте.



Зависимость числа видов от площади на островах Северной Охотии. Цифрами обозначены острова: 1 — Завьялова, 2 — Спафарьева (северная часть), 3 — Спафарьева (южная часть), 4 — Недоразумения, 5 — Талан, 6 — Умара, 7 — Шеликан, 8 — Вдовушка, 9 — Матыкиль.

и $\log y$ наблюдается только для наиболее крупных островов — Завьялова и Спафарьева (южной и северной частей). После обратного преобразования уравнение принимает следующий вид:

$$y = 158x^{0.133}$$

По этому уравнению можно рассчитать разницу между ожидаемым и фактическим количеством видов на других островах. По сравнению с расчетной величиной на островах Недоразумения и Умара оказалось несколько больше видов (на 17 в каждом случае), на остальных островах — Матыкиль, Шеликан и Талан — существенно меньше (на 125, 75 и 52 вида соответственно). Напомним, что эти острова заселены многочисленными колониями птиц, что, безусловно, сказалось на растительности и ее видовом составе. В число островов с пониженным видовым разнообразием попал и маленький островок Вдовушка (минус 45 видов), видимо, потому, что полученные нами постоянные в уравнении Аррениуса нельзя применять к столь ничтожной площади (около 4 га).

Значение z для островов Северной Охотии равно 0.133, т.е.

флоры островов проявляют себя как выборки по отношению к флоре побережья и потому не могут считаться изолятами. Иными словами, зависимость число видов — расстояние на наших островах «не работает» из-за их недостаточного удаления от побережья (о.Завьялова — на 19 км, а о.Матыкиль — на 17 км, остальные острова расположены еще ближе).

Птицы. Как мы уже не раз отмечали, флористическое разнообразие на некоторых островах (Матыкиль, Талан, Шеликан) оказалось меньше ожидаемого. Причина тому проста: гнездование в этих местах морских колониальных птиц. Они разрушают первоначальный растительный покров, не только химически, сжигая его огромным количеством помета, но и механически, разрыхляя или уплотняя почву. Кроме того, птицы приносят семена на территорию колонии [6]. Однако не все виды воздействуют на растительный покров в равной степени. На о.Шеликан наибольшее влияние оказывает тихоокеанская чайка (*Larus sbistisagus*), колония которой насчитывает более 6.5 тыс. особей, на о.Талан — топорок (*Lunda cir-*

rata), колония из 140 тыс. особей, на о.Матыкиль — глупыш (*Fulmarus glacialis*), колония из 100 тыс. особей.

На побережье и островах Завьялова, Спафарьева, Недоразумения влияние птиц на растительный покров незначительно, проявляется локально и не сказывается на составе флоры сосудистых растений.

Более заметные изменения растительности происходят, например, на о.Умара, где присутствие пернатых скорее полезно, нежели вредно для растений (своеобразный эффект подкормки). При этом флористический состав стабилен, хотя может меняться численность отдельных популяций, а список — пополняться заносными видами.

При сильном влиянии формируются особые, так называемые орнитогенные почва и растительность, как происходит, например, на Ямских о-вах и о.Талан. Орнитогенную растительность принято разделять на первичную, возникающую на участках, прежде лишенных растительности, и на вторичную, преобразованную из исконной [6]. Некоторые виды растений — нитрофилы — в местах гнездования колониальных птиц быстрее растут и становятся более мощными, но видовое разнообразие орнитогенных сообществ невелико. На о.Талан это первичная либо вторичная растительность из вейника Лангдорфа, щитовника расширенного (*Dryopteris expansa*) и морозника (*Rubus chamaemorus*), сформированная в основном под влиянием колоний топорка, на о.Матыкиль — наскальные травянистые сообщества с преобладанием родиолы розовой (*Rhodiola rosea*) в колониях глупыша.

Наконец, бывают случаи, когда присутствие птиц может стать губительным не только для растительного, но и для почвенного покрова. Если охвачен весь остров, неизбежно сильное обеднение флоры, вплоть до опустошения. Так, например, происходит на о.Шеликан, где за прошедшие

10—15 лет численность тихоокеанской чайки увеличилась больше чем в полтора раза [7]. Гибнут деревья, кустарники и прочие растения, деградирует даже вторичная растительность (заросли вейника и морошки). Из 56 видов, обнаруженных на острове в 1986 г., 15 найти не удалось спустя 11 лет.

На Ямских о-вах и на о.Талан птицы формируют первичный и вторичный растительные покровы. Судя по всему, экосистемы, сложившиеся здесь, функционируют устойчиво в течение сотен, а то и тысяч лет. На о.Шеликан равновесие нарушено, и утрата видов происходит на наших глазах. К этим островам приложимы представления о динамическом равновесии, но фактором утраты видового разнообразия выступает не островной эффект, а орнитогенный «пресс».

История формирования флоры. Острова Недоразумения и Умара оказались несколько богаче видами (в сравнении с расчетной величиной), что можно объяснить большей близостью их к побережью. Там обитают виды, которые не встречаются на более удаленных от побережья островах Завьялова и Спафарьева. Это — обитатели теплых приморских склонов: прострел многонадрезный (*Pulsatilla multifida*), карагана гривастая (*Caragana jubata*), полынь пижмолистная (*Artemisia tanacetifolia*), очиток камчатский (*Sedum kamtschaticum*), в том числе североохотские неоэндемики — пырей североохотский (*Elymus boreochochotensis*), эдельвейс звездчатый (*Leontopodium stellatum*), примула Мазуренко (*Primula mazurenkoae*), астрагал долиновидный (*Astragalus vallicoides*), а также некоторые лесные и луговые растения. Отсутствие перечисленных видов во флоре удаленных от побережья островов, на наш взгляд, не корректно объяснять только вымиранием этих видов в условиях изоляции. Более вероятно, что теплолюбивые виды распространялись



Остров Завьялова. Холодные туманы, сильные ветры и горный рельеф определяют преимущественно тундровый облик его растительности. Каменноберезовый лес со свитой реликтовых видов занимает защищенные от ветра участки. Всего на острове обнаружено около 300 видов растений.



Остров Талан. Обрывистые берега, платообразная вершина, многочисленные скопления птиц, нитрофильная растительность, опоясывающая остров по всему периметру и частично захватывающая вершинное плато, — характерные его черты.

Фото автора

вдоль Охотского побережья в начале голоцена, когда острова Маткиль, Завьялова, Спафарьева и Талан уже образовались, о.Недоразумения еще был полуостровом, а совсем мелкие острова — частью материка. Иными

словами, отличия флоры удаленных и ближних островов связаны с историей ее формирования. Возможно, после образования дальних островов часть видов была утрачена именно в результате вымирания мелких популя-



Остров Маткиль. Береговые обрывы заняты колониями птиц, а в вершинной части склон сглажен, покрыт кустарничковой и кустарничково-лишайниковой тундрой с куртинами кедрового стланика. Флористическое разнообразие невелико — на острове нет не только лиственницы, но и такого массового растения Охотского побережья, как ольховник кустарниковый.

Фото Д.И.Плотникова

ций. Однако нельзя с уверенностью судить о вымирании того или иного вида, сравнивая флоры островов между собой, ведь они лишь часть недавно существовавшей суши, и при дроблении континуума (такого, как растительный покров) «попадание» того или иного вида на конкретный остров могло быть случайным. Например, различия во флоре двух частей о.Спафарьева нельзя полностью приписывать разнице геоморфологического строения, ибо растительный покров мог сформироваться еще до отделения острова. Иначе трудно понять, почему беквития Шамиссо (*Beckwithia chamissonis*), колокольчик Шамиссо (*Campanula chamissonis*), кассиопея плауновидная (*Cassiope lycopodioides*), лапчатка кустарниковая (*Pentaptylloides fruticosa*) и т.д. встречаются только на южном массиве, а плаун можжевельниковый (*Lycopodium juniperoides*), можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica*), кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*), синюха ко-

локольчатоцветковая (*Polemonium campanulatum*) и др. произрастают только в северной части острова. Удивительно, почему обе части о.Спафарьева до сих пор сохраняют индивидуальность.

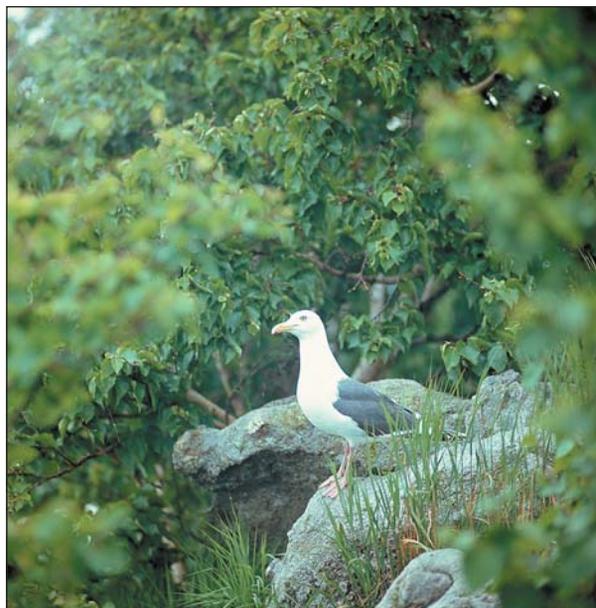
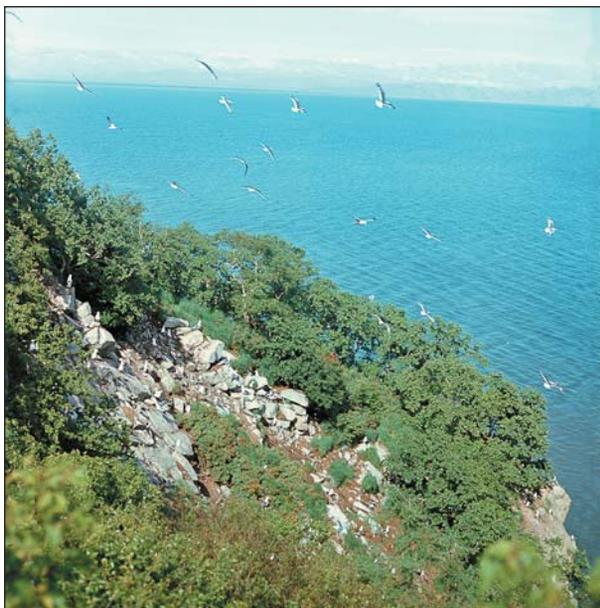
Флора островов Тауйской губы на 85 видов больше, чем флора самого большого о.Завьялова. Четверть видов из общего списка встречается только на одном из островов. Несмотря на высокое сходство видового состава, на каждом, даже самом мелком, острове есть хотя бы один вид, не известный на других. Все «островные» виды, за исключением семи реликтов, произрастают на побережье.

Все это свидетельствует о случайном распределении видов на островах и о консерватизме флоры, сохранившей некоторые реликтовые элементы до наших дней. Мы специально не обсуждаем здесь конкуренцию видов, так как в суровых северных условиях конкурентные отношения растений ослаблены, и их можно не учитывать.

Равновесная теория, предполагающая постоянную смену видов, не вполне приложима к нашим островным флорам. Они выглядят довольно стабильными, даже на трансформированных птицами местобитаниях (кроме о.Шеликан). Вероятно, времени существования островов Северной Охотии недостаточно для заметной смены видов.

Очень немного можно сказать об «иммигрантах» — видах, вселившихся на острова после их образования. Во-первых, ясно, что изначально берега были заняты видами прилиторальной группы. Во-вторых, явно современными (случайно занесенными) выглядят единичные угнетенные формы деревьев (лиственницы, березы шерстистой, разных видов ив) на безлесном острове Спафарьева (в южной его части), а также на Талане и Умаре. В-третьих, пришлые виды появляются и исчезают вместе с человеком. Их внедрение носит локальный характер и не катастрофично для исконной флоры. Всего на островах Тауйской губы отмечены 24 чуждых вида (1—13 видов на каждом из островов; лишь на островах Ямской группы заносных видов нет!). Однако синантропный элемент флоры не должен приниматься в расчет, когда речь идет о теории равновесия. В-четвертых, «иммигранты» обнаружены в местах гнездования тихоокеанской чайки. Это, например, звездчатка средняя (*Stellaria media*) и марь белая (*Chenopodium album*), но их путь проникновения на острова нельзя признать естественным, так как, скорее всего, чайки перенесли эти растения со свалок и звероферм. Другие виды колониальных птиц питаются в море и ничего нового в растительный покров не привносят.

Утрата видовой разнообразия. По мнению В.Н.Васильева, низкое в среднем количество видов на один род во флоре Командорских о-вов говорит о вторичном ее обеднении [8],



В 1987 г. о.Шеликан был еще очень зеленым. В то время колония тихоокеанской чайки насчитывала не более 2 тыс. пар, растительность на поврежденных участках успевала восстанавливаться.

Фото А.В.Кречмара

т.е. о сильном проявлении островного эффекта. На островах Северной Охотии среднее число родов и видов, приходящихся на одно семейство, постепенно уменьшается по мере сокращения площади острова, поэтому в наиболее бедных флорах чуть ли не каждый род представлен всего одним видом (таблица). Казалось бы, в данном случае островной эффект ярко выражен, однако это скорее результат малой выборки. Низкое число видов в роде свидетельствует о несамостоятельности рассматриваемой флоры и о ее принадлежности к фитохории более высокого ранга [5].

С другой стороны, складывается впечатление, что на островах флоры могут быть разнообразнее, чем на сходных по площади участках материка. Горные островные ландшафты обуславливают высокий уровень видового богатства на небольшой территории. На о.Умара, несмотря на малую площадь (0.2 км²), найдено более 150 видов. Две части о.Спафарьева различаются по площади в два раза и только на 20 видов сосудистых расте-



За последние 10—15 лет численность колонии чайки возросла в полтора с лишним раза (белые точки на снимке — чайки). В результате на острове активно разрушаются растительный и почвенный покровы на склонах, гибнет лес в вершинной части, опустошается флора.

Фото автора

ний, причем флора на меньшей части острова весьма своеобразна. На побережье трудно найти участки такой площади с похожим набором весьма различных местообитаний (супралитораль, скалы, крутые склоны, их гребни или вершинные плато). Однако на острове большей площади,

где ландшафты не столь разнообразны (в основном из-за отсутствия речных долин), флора оказывается беднее, чем на материковом побережье.

Полагая, что на единицу островной площади может приходиться больше видов, чем на материковой, мы становимся сто-

Таблица

Основные пропорции природной флоры на материковом побережье и на островах Северной Охотии

Территория	Площадь, км ²	Высота над ур.м., м	Удаленность, км	Число таксонов:			Таксономические пропорции	Среднее число видов в роде
				сем-ва	роды	виды		
Побережье	40 000	–	–	86	287	865	1:3.3:10.1	3.0
о-ва Тауйской губы, всего	158	–	–	67	184	384	1:2.7:5.7	2.1
о.Завьялова	118	1115.7	19.0	62	156	299	1:2.5:4.8	1.9
о.Спафарьева (сев.)	22	572.0	7.0	54	141	237	1:2.6:4.4	1.7
о.Спафарьева (южн.)	10	313.5	9.0	51	128	216	1:2.5:4.2	1.7
о.Недоразумения	5.1	291.5	2.2	52	129	213	1:2.5:4.1	1.7
о.Талан	2.5	221.0	7.0	43	90	126	1:2.1:2.9	1.4
о.Умара	0.2	91.0	1.5	41	95	145	1:2.3:3.5	1.5
о.Шеликан	0.2	71.2	1.8	28	50	53	1:1.8:1.9	1.1
о.Вдовушка	0.04	43.0	0.2	26	48	58	1:1.8:2.2	1.2
о.Матыкиль	8.7	697.0	17.0	37	67	86	1:1.8:2.3	1.3

ронниками теории, которая в островной биогеографии иногда противопоставляется теории равновесия. Согласно этой идее, то или иное распределение видов на островах объясняется типом острова, т.е. ландшафтно-климатическими условиями и набором подходящих местообитаний [9]. Такое объяснение по сути не отрицает существование островного эффекта, который как раз и призван объяснять отсутствие видов именно в типичных местообитаниях.

* * *

Итак, все возможные проявления островного эффекта на островах Северной Охотии можно объяснить и другими факторами. Конкретное число видов растений, обитающих на том или ином острове, зависит от его площади, разнообразия

экотопов, воздействия птиц, времени обособления островов. Неоднородность среды обитания так маскирует островной эффект, что его трудно обнаружить.

И все же мы далеки от полного отрицания островного эффекта. Весьма вероятно, что в голоцене после обособления наших островов произошло обеднение островных флор в результате вымирания мелких популяций, но количественно оценить такое обеднение (т.е. островной эффект), а также сказать, какие именно виды были утеряны, весьма трудно.

В нашем случае выявление островного эффекта, по-видимому, требует специальных исследований, например таких, как анализ степени флористической неполноценности фитоценозов. Сложность его применения в том, что нужно ис-

пользовать однородные участки, удаленные от экотонов [4], которые на островах не всегда удается выделить.

Полезен будет и периодический мониторинг флористического разнообразия, особенно наблюдение за популяциями редких и индикаторных видов, например одуванчика Тамары (*Taraxacum tamarae*) на о.Талан, караганы гривастой и эдельвейса звездчатого на о.Недоразумения, беквитии Шамиссо на о.Спафарьева, селезеночника щелистого (*Chrysosplenium rimosum*) и магадании ольской (*Magadania olaensis*) на о.Завьялова. Однако мониторинг — долгий процесс, пока же с уверенностью трудно сказать: проявляется ли островной эффект на наших скромных северных островах, поскольку он маскируется хитросплетением многочисленных факторов. ■

Литература

1. Connor E.F., Simberloff D.S. // Ecol. Monogr. 1978. V.48. P.219—248.
2. Хохряков А.П. Флора Магаданской области. М., 1985.
3. MacArthur R.M., Wilson E.O. The theory of Island Biogeography. Princeton, 1967.
4. Акатов В.В. // Ботан. журн. 1995. Т.80. №4. С.49—64.
5. Флора Путорана / Ред. Л.И.Малышев. Новосибирск, 1976.
6. Бреслина И.П. Растения и водоплавающие птицы морских островов Кольской Субарктики. Л., 1987.
7. Зеленская Л.А. Состояние колонии морских птиц о.Шеликан // Биологические основы устойчивого развития прибрежных морских экосистем: Тез. докл. междунар. конф. Апатиты, 2001. С.89—92.
8. Васильев В.Н. Флора и палеогеография Командорских островов. М.; Л., 1957.
9. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. Т.2. М., 1989.

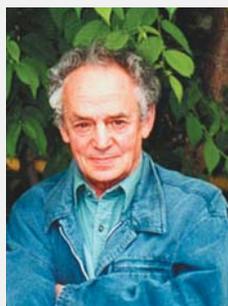
Идеальный приспособленец, или Адаптивная стратегия сибирского углозуба

Д.И.Берман

Эскизный «портрет»

В северных широтах биологическое разнообразие обеднено, и причина очевидна — недостаток тепла. Короткое и холодное лето, долгую зиму способны перенести не многие виды. И все-таки кое-какие, казалось бы, совсем не совместимые с Севером организмы успешно живут там. В числе подобных, и едва ли не первый среди них, — сибирский углозуб (*Salamandrella keyserlingii*).

В «Природе» много раз говорилось об этом замечательном животном. Напомним вкратце, что речь идет о небольшой (обычно 10–12, максимально до 15 см) хвостатой амфибии со скромным рисунком верхней стороны тела. Похожа на широко известного обыкновенного тритона, состоит с ним в родстве — относится к отряду *Urodela*, но к другому, нежели тритоны, семейству — углозубов (*Hynobiidae*). Более 25 видов семейства распространены главным образом в Восточной Азии [1], и лишь один вид вышел на равнины Северной Евразии, точнее — умеренного и арктического поясов. Не просто вышел, а колонизовал гигантские пространства — наш углозуб занимает самый большой среди



Даниил Иосифович Берман, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биоценологии. Область научных интересов — адаптивная стратегия северных организмов, биогеография Берингии.

земноводных Евразии ареал, самый северный, вплоть до 72°с.ш. [2], охватывающий тундровую, лесную и лесостепную зоны, а также некоторые районы степной. Замечу, что эта амфибия проникает в тундры не только по залесенным долинам рек, как принято считать [3]. Простейшее тому доказательство — изобилующие углозубами Чаунские тундры, которые изолированы от леса сотнями километров, лишены транзитных рек и прикрыты с юга системой безлесных хребтов. Поэтому углозуб вряд ли «типично лесной вид» [3], он воистину полизонален.

Местами это безвредное животное встречается редко, местами оно до чрезвычайности многочисленно. Исключительно для примера: как-то осенью,

уже перед снегом, недалеко от Магадана мы собрали в заболоченном лесу, на берегу нерестового озера, за четыре часа только под валежником (т.е. в примитивных убежищах) более 150 молодых особей. Но и при такой численности углозубы малозаметны, ибо молчаливы, флегматичны (большую часть года), не агрессивны, да к тому же активны в основном в сумерках и ночью, когда орнамент рисунка кожи успешно выполняет свою покровительственную функцию, особенно на Севере с его белыми ночами. Углозуба обычно можно увидеть лишь случайно, встретив на открытом месте, например, когда он неспешно переползает дорогу... Словом — «в быту скромнен».

© Д.И.Берман



Сибирский углозуб. Эта экологически пластичная амфибия — прекрасная модель для изучения адаптивной стратегии широко распространенных видов. Обычно углозуб внешне маловыразителен, но запечатленный экземпляр на редкость ярко окрашен.

Фото А.В.Кречмара

Пластичность или специализация?

Углозуб привлекателен не только своей скромностью. Рекордный по размерам и ландшафтному разнообразию ареал позволяет предполагать одну из двух возможностей: либо его обладатель специализирован и занимает одну экологическую нишу, будучи связан с каким-то ограниченным кругом биотопов (как, например, выдра — за пределами водоемов с рыбой ее нет); либо — экологически высоко пластичен. Углозуб — холоднокровное существо, казалось бы, крайне зависимое от

среды обитания, не только от температуры, но и от влажности, а посему он должен иметь если не локальный, то уж во всяком случае не полизональный ареал.

Действительно, углозуб всегда привязан к влажным биотопам, но лишь в степях он их никогда не покидает, в лесной же зоне вода ему необходима только весной, в период размножения. В другое время где его только ни встретишь, правда, в основном в пределах речных долин и озерных котловин разного масштаба, включая склоны прилежащих гор. В верховьях Колы-

мы легче перечислить места, где мы их не находили.

Интуитивно понятно, что углозуб — экологически пластичный вид и прекрасная модель для изучения одной из возможных адаптивных стратегий широко распространенных видов. Об углозубе известно уже довольно много [2, 3], а анализа изученного набора адаптаций, слагающих и определяющих стратегию, пока, как ни странно, предпринято не было. Попробуем хотя бы частично сделать это: с одной стороны, оценим устойчивость вида к конкретным факторам среды, сосредото-



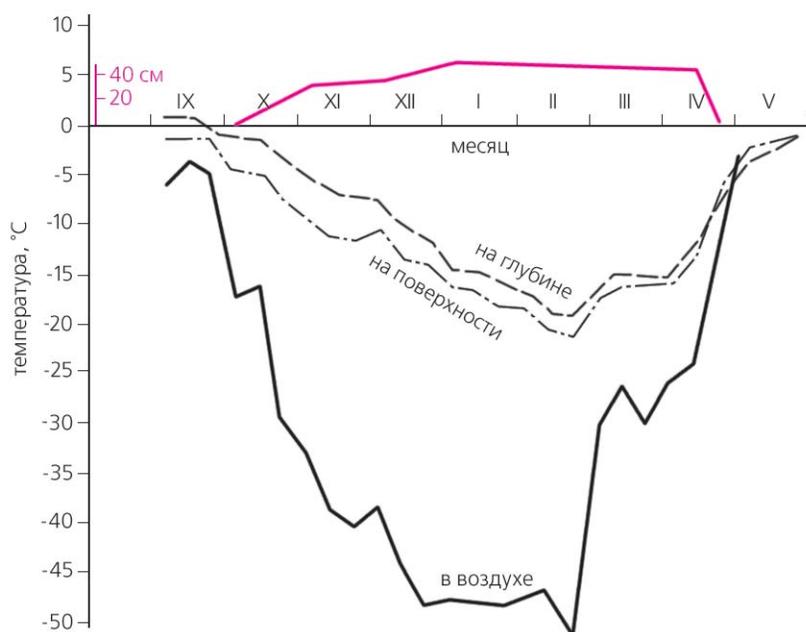
Ареал сибирского углозуба (выделено цветом). Занимает южные тундры, леса, лесостепи, а также север степной зоны. 1 — границы ареала проведены по крайним точкам находок [2]; 2 — северная граница степной зоны; 3 — южная граница типичных и арктических тундр.

точившись на ответственнейших для углозуба периодах — зимовке и размножении, с другой — обратимся к важнейшим адаптациям, которые можно усмотреть в характере оплодотворения и в пространственной структуре популяций углозуба. Известно, что у этого животного с огромным ареалом отсутствует внутривидовая дифференциация (нет ни подвидов, ни морф и т.д.), т.е. вид монотипичен. Вероятно, в этом (не редко встречающемся в животном мире и не всегда объяснимом) феномене повинны его поразительные адаптивные возможности. Для анализа в основном были использованы материалы, которые мы с коллегами (А.В.Алфимовым, В.А.Бельгером, А.Н.Лейрих, Е.И.Михайловой, Г.П.Сапожниковым и др.) собирали многие годы в одном из наиболее жестких по климату регионов — на северо-востоке Азии, где адаптационные возможности вида по идее должны проявляться максимально полно.

Зимние температуры и ареал

Не считая короткого периода размножения, углозубы в остальное время вполне наземные животные. Однако большую часть времени — как минимум, с последней декады августа по конец апреля — они зимуют, да к тому же шесть месяцев из восьми при лютых морозах. Казалось бы, зимовка — критический период в жизни наших амфибий, особенно в районах, лежащих в центре очень стабильного Якутского отрога Сибирского антициклона, т.е. вблизи полюса холода. Так ли это?

Примерно за месяц до наступления зимы углозубы перестают перемещаться по территории, что легко устанавливается с помощью земляных ловушек. В это время молодых особей разных возрастов нетрудно найти на ближайших к водоему или болоту относительно более

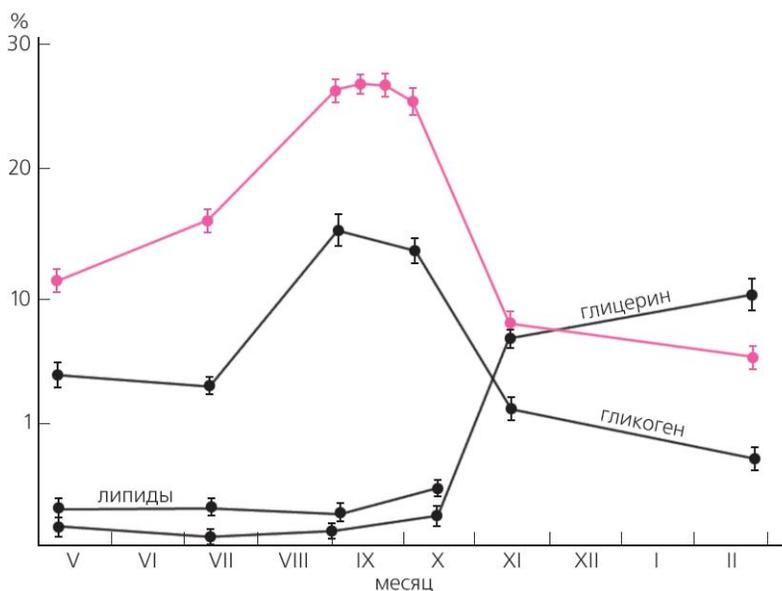


Температурные условия на одном из участков обитания углозуба в верховьях Колымы (350 м над ур.м). Сентябрь 1983 г. — октябрь 1984 г. Видно, что зимние температуры на глубине 5 см и на поверхности почвы гораздо выше, чем в воздухе на высоте 2 м. В обычный по погодным условиям год в месте зимовки углозуба температуры не опускаются ниже -20°C благодаря утепляющему действию снежного покрова (кривая его изменения показана цветом).

высоких и сухих участках, под упавшими деревьями, в трухлявых пнях и других подобных убежищах. Взрослые же амфибии в большинстве своем зимуют непосредственно вблизи воды, на болотистых берегах, во мху и в кочках без всяких убежищ на глубине 7–10 см (они способны очень быстро зарываться даже в достаточно плотную почву, как бы буравя ее головой и упершись всеми четырьмя лапами). Животные не питаются до впадения в полное оцепенение (т.е. примерно месяц!), наступающее при отрицательных среднесуточных температурах. В наиболее жестких по климату частях ареала, к числу которых несомненно относится верховье Колымы, к концу октября морозы достигают -30°C , и при нередко случающемся отсутствии снега животные оказы-

ваются в очень суровых условиях. В декабре—феврале 50-градусные морозы — дело обычное, но к этому времени выпадает примерно 40–50 см снега, смягчающего температуры в почве на глубине зимовок в разных местах до -10°C – -30°C .

Углозубы замерзают (но не полностью) при не очень-то низких температурах: -3°C – -5°C . В брюшной и легочной полостях, во рту, во внутренних складках кожи, между крупными мышцами — везде формируются конгломераты туповершинных кристаллов льда, ледовые корки. Сама же внутренние органы остаются не смерзшимися, эластичными; не замерзает и кровь. Мышцы тела, как твердая резина, упруго гнутся. Последующее охлаждение до -35°C безвредно для углозубов, и после -40°C амфибии жизнеспособны, но име-



Изменение морфофизиологических и биохимических показателей углозубов на Верхней Колыме в течение года. Видно, что постепенно (до октября) увеличиваются доля печени относительно массы тела (индекс печени — цветная кривая) и содержание гликогена при малых концентрациях глицерина. В октябре при понижении температуры концентрация гликогена почти скачком уменьшается, а глицерина — столь же резко возрастает. Эти кривые отображают процесс превращения резервного вещества гликогена в антифриз глицерин.

ют явные повреждения, судя по кровоизлияниям.

Полному замерзанию животных препятствуют высокие концентрации в крови и тканях глицерина, одного из наиболее распространенных у зимующих беспозвоночных антифриза. До недавнего времени глицерин не был известен в этом качестве у позвоночных животных, и углозуб — один из первых, у кого он обнаружен. Как многие другие амфибии, углозуб обладает очень большой печенью — энергетическим аккумулятором, который необходим в затяжные непогоды, когда служащие пищей насекомые, пауки, мелкие наземные моллюски и другие животные малоподвижны, а по-сему мало заметны. Этот аккумулятор нужен амфибиям и для того, чтобы пережить зиму. Большинство лягушек зимуют в водоемах при малых положительных температурах; они не питаются, и печень, видимо, единственный

источник энергии долгой зимой. У углозубов доля печени от массы тела осенью может достигать 37.5%, а главного носителя энергии в ней — гликогена — 14–16%. Зимой доля печени падает до 4–6%, содержание гликогена — до 0.3–0.4%, но появляется в большом количестве глицерин, который образуется из гликогена — до 17%. Такова примерная схема механизма противостояния углозуба низким температурам.

Некоторая «легкость» отношения углозубов к холоду проявляется также в феноменальных фактах их многолетнего пребывания в вечной мерзлоте. Не будем останавливаться на них, ибо подобные случаи, приводившие в замешательство исследователей и вызывавшие недоразумения (углозубов принимали за живых ископаемых, возраст которых, если судить по возрасту вмещавших их пород, составлял чуть ли не миллионы лет), неод-

нократно обсуждались в «Природе». На одну из этих публикаций обратил внимание А.И.Солженицын в «Архипелаге ГУЛАГ».

Способность углозуба переносить температуры ниже -35°C и, возможно, -40°C для позвоночного животного, конечно, удивительна, но не менее удивительна и другая важная их особенность — длительное сохранение жизнеспособности, напротив, при относительно высоких температурах. Ведь в мерзлоте, на глубине 2.5–3.5 м, температуры постоянны и на большей части территории северо-востока Азии колеблются в пределах -5°C ... -7°C , и лишь в тундрах низовой Яны, Индигирки и Колымы падают до -8°C ... -12°C [4]. Поскольку углозубы замерзают при температурах ниже -3°C , многолетнее пребывание в мерзлоте при -1°C ... -1.5°C [5] принципиально невозможно: для жизнедеятельности необходима энергия, запасы которой ограничены. Только до предела приостановив метаболизм (что и происходит при замерзании), организм может себе позволить длительно не пополнять запасы энергии. Образуя, говоря, углозубу в морозильнике бытового холодильника вполне комфортно, а в отделении для овощей он обречен.

Зная об успешной зимовке углозубов в верховьях Колымы, Яны и Индигирки, т.е. в самых морозных районах, можно ли считать, что они способны на это в любой части Евразии? Напомним, что для подавляющего большинства организмов обычно важны не столько средние температуры мест зимовки, сколько минимальные, зависящие в свою очередь от температуры воздуха и характеристик снежного покрова (мощности и плотности). Восточнее Урала в суровые месяцы погоду определяет прежде всего Азиатский антициклон; в его пределах что в Якутии и Магаданской обл., что на юге Сибири и в Монголии, а временами и в Приморье, жутко холодно. В малоснежные годы минимальные температуры в почве при-

Таблица

Температурные условия зимовки углозуба в разных регионах и ландшафтных зонах

Регион	Координаты с.ш.	Высота над ур.м., м	Температура, °С		Ландшафтная зона
			воздуха, средняя в январе	почвы*, минимальная на глубине 3 см	
Рыткучи	68°53′	6	-31.4**	-15**	тундровая
Оймякон	63°16′	660	-49.5	-20	лесная
Якутск	62°05′	103	-42.9	-19	лесная
Абориген	61°45′	500	-38.0***	-19***	лесная
Усурийск	43°47′	23	-20.3	-18	лесная
Улан-Батор	47°45′	1306	-29.2	-20	степная

* По А.В.Алфимову (личное сообщение).

** Данные метеостанции «Красноармейская».

*** Усредненные данные метеостанций «Детрин» и «Сусуман».

мерно одинаковы (см. таблицу), при этом теплее всего ... в тундрах (метеостанция «Рыткучи» на севере Чукотки). Впрочем, все приведенные в таблице минимальные температуры почвы весьма далеки от порога переносимых углозубом температур, что и позволяет ответить утвердительно на заданный вопрос.

Приоритеты выбора водоемов

Углозубы, как известно, размножаются в воде. Здесь они спариваются, откладывают икру, проходят эмбриональное и постэмбриональное развитие. Словом, водный период жизни весьма ответствен.

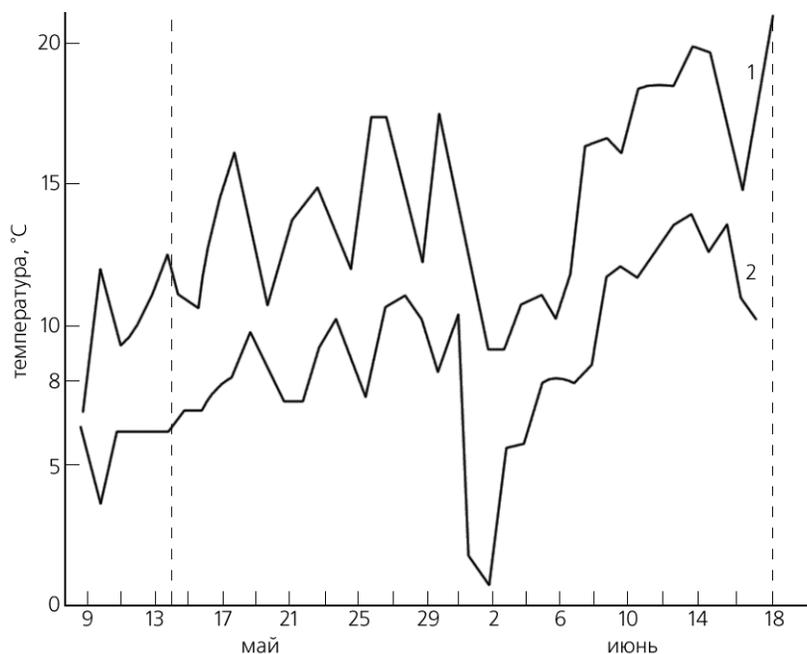
Углозубы уходят с места зимовки, как только оттают вместе со мхом или почвой. Уже при двух-трех градусах они вполне активны. Какая особь в каком водоеме отложит икру, зависит от его близости к месту зимовки. А последнее в свою очередь — от места, где углозуба застанет осень. Большинство взрослых животных летом не покидает окрестности водоема, в котором размножились, а осенью подтягиваются чуть ли не вплотную к нему (если он, разумеется, не пересыхает), устраиваясь зимовать непосредственно у воды. Для таких особей

проблемы выбора весной нет — он сделан осенью.

В некоторых водоемах (назовем их маточными) животные из года в год размножаются, в других — их нет. Какие условия необходимы, чтобы водоем был маточным? Прежде всего он не должен быть расположен в нашем регионе выше 1000 м над ур.м. (там поздно тает лед, и не успеет пройти метаморфоз). Не должен пересыхать даже в маловодные годы; но и переполнение, да еще с бурным течением, как это обычно случается во время паводков, не лучше. Правда, на старых поймах, которые почти не заливаются, и надпойменных террасах маточные озера — дело обычное. Но маточными могут быть и глубокие (более 1 м) бочаги в болотах, термокарстовые лужи, разного рода искусственные пруды и т.д. Водоем должен быть некрупным (чтобы волной не отрывало кладки от травинки, веточки и т.д.), с довольно отлогими берегами (чтобы при падении уровня икра не обсыхла). Не сильно заросшим, не полностью затененным (чтобы не все кладки оказались в тени, где будут долго развиваться). Но и неперегреваемым (чтобы не было цветения воды). Чтобы дно было «не голым» — вылупившимся личинкам надо где-то прятаться. Чтобы водоем был едва-едва проточным (и уровень в жару бу-

дет поддерживаться — икра не обсохнет, и растворенного кислорода побольше). В таких водоемах разнообразна живность и для взрослых (что не особенно важно, ибо список обнаруженных в желудках беспозвоночных сравним с подробным систематическим указателем хорошего определителя), и для личинок (что много важнее). Чтобы в них не было рыб, вероятно, выедающих личинок углозуба. Желательно, чтобы водоем был в окружении сырых угодий (болот, заболоченных или просто тенистых лесов) — после размножения взрослым и сеголеткам есть, где кормиться. Словом, маточное озеро — эдакая тихая и благополучная гавань, в которой из года в год, как теперь принято говорить, «успех размножения» велик, а попросту — большая часть отложенной икры разовьется, и личинки, пройдя метаморфоз, выйдут на берег. Понятно, что маточные водоемы — основные хранители популяции, и перечень требований к ним не мал.

Однако не все взрослые особи осенью оказываются у маточных водоемов. В частности, это касается впервые размножающихся после юношеских блужданий. Они зимуют там, где их осенью застают первые еще несильные ночные заморозки, наступающие в долинах в двадцатых числах августа. Рядом может не оказаться подходящих водоемов, и вышедшие весной с зимовки на поверхность углозубы стремятся отложить икру в любую открытую воду. В равной мере их устраивают и узкие проталины у берегов (чаще всего в небольших прудах и лужах), и заполненные тальми водами чаши озерков поверх льда, образовавшегося при низком осеннем уровне. Эти водоемы заселяются в первую очередь, ибо появление первой открытой воды совпадает со временем пробуждения амфибий. Углозубы никогда не ждут полного таяния льда, они довольствуются немногим. Чаще всего ближайшей к месту случайной зимовки оказывается какая-либо



Ход максимальных (1) и минимальных (2) суточных температур на глубине 10 см в водоемах с кладками углозуба в 1982 г. Вертикальными пунктирными линиями ограничен период от появления первой кладки до выклева личинок из последней. Рисунок отражает рядовую ситуацию: примерно в середине эмбриогенеза, приходящегося обычно на май—июнь, погода испортилась, температура в воде у кладок упала за двое суток с 17,5°C до 1°C, на поверхности воды образовался лед. Охлаждение даже ниже нуля не страшно отложенной икре.

рано оттаивающая лесная лужа, подпруженный дорожный кювет, в конце концов — затопленный след лося на глинистом участке...

В такой «временке» икру и личинок поджидает лишь одна опасность: пересыхание. Большинство же издержек жизни в маленьком, как и в любом другом, водоеме углозубам не страшны. Судите сами. **Концентрация кислорода** в водоемах, в которых обнаружены личинки углозубов разных возрастов, варьирует от 1,5 до 10 мг/л (при 12–13,5°C). В лаборатории личинки предметаморфозных стадий безбедно жили при 1,7 мг O₂/л и даже в почти лишенной кислорода воде, но в открытых сосудах — периодически всплывающая и заглатывая воздух. У углозуба, в отличие от обыкновенной саламандры и гребенчатого тритона, активны все три дыхательные поверхности — кожа,

легкие и рот [6]. **Кислотность воды** в водоемах с углозубами варьирует в пределах 3,8–6,95 [3], что означает безразличие углозубов и к этому параметру. **Температура воды** весной в водоемах одного из самых холодных из исследованных регионов — Халерчинской тундры — достаточна для эмбрионального развития, и оно длится 17–19 сут, т.е. столько же, сколько в Центральной Якутии — 17–22 [3]. Тем более в южных районах (кроме горных) температуры воды не помеха углозубам. **Резкие падения температуры** воды вплоть до нуля не страшны отложенной икре; по мере развития ее устойчивость к холоду растет, и эмбриогенез может не только без всякого ущерба приостановиться, но при повышении температуры возобновиться с ускорением [3]. **Верхний температурный предел** для икры

также велик — 29°! А уж несоответствие характера дна, затененности, обилия пищи для личинок, прилежащих угодий и т.д. стандарту маточных водоемов углозубы вполне переносят.

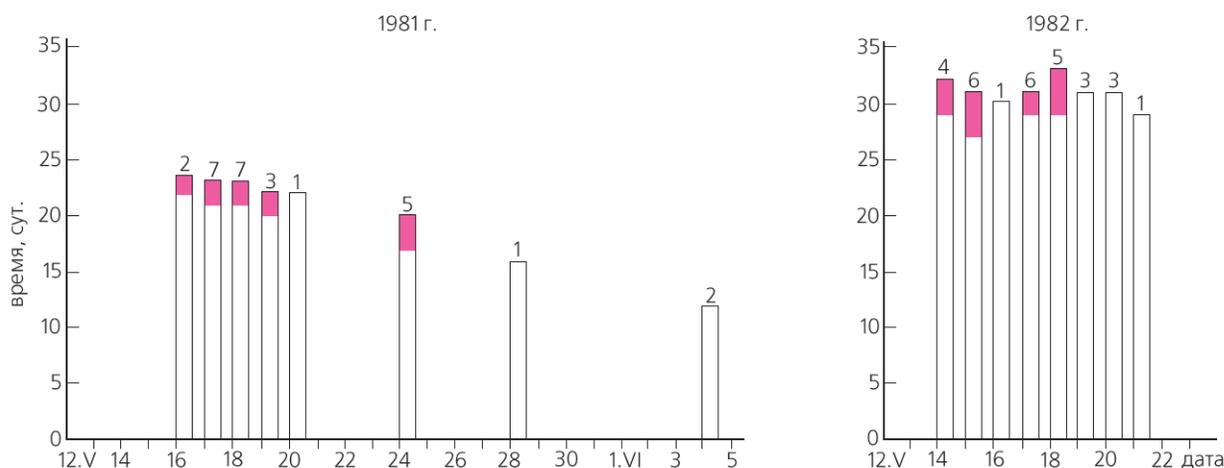
Конечно, далеко не в каждом водоеме «выход на берег» сеголетков будет столь же успешным, как в маточном. Но и роль пересыхающих водоемов иная, нежели маточных: в благополучные годы они — форпосты расселения, в бедные осадками и жаркие — тупики в период размножения, ибо заселенные первыми, первыми же и пересыхают.

И без дальнейшего перечисления выдающихся способностей углозуба ясно, что они разносторонни и велики, и адаптивная стратегия может быть выражена следующей нехитрой формулой: «Побыстрее добраться до любой воды безо льда, отложить в удобное место икру. А икра и личинки все перемогут... если только не пересохнет водоем и лето не будет слишком уж холодным для развития личинок. Не повезет одним — повезет другим, не всем — так некоторым, не в этом году — так в следующем».

Внутривидовая изменчивость и ареал

Известный житейский принцип на все случаи жизни рекомендует «не класть все яйца в одну корзину». Применительно к углозубу с его гигантским ареалом этот принцип звучит так: «Имей потомство максимально разнообразное по требованиям к среде, и кто-либо из отпрысков выживет». Или, что тоже самое, — поддерживай в пределах популяции (ведь из популяций в конце концов слагается вид) максимально возможную изменчивость — своего рода адаптивный резерв на все случаи жизни; чем больше резерв, тем жизнеспособнее вид [7].

Эффект следования принципу может быть косвенно проверен анализом внутривидовой структуры вида, изученной, к со-



Даты появления кладок и срок их развития в двух водоемах на Верхней Колыме. Цифра у столбика — число кладок, выделенная цветом часть — вариации сроков развития. Кладки появляются не в один день и заканчивают развитие также не одновременно. Ранние кладки попадают в холодную воду, поздние — в относительно теплую; соответственно первые развиваются медленно, вторые — быстрее. Судьба вылупившихся из них личинок может быть различной.

жалению, недостаточно. Однако уже ясно, что выделить подвиды не удастся даже из географически противоположных частей ареала. Только популяции Приморья в этом отношении дают какую-то надежду [2]. Иными словами, внутривидовая структура, повторимся в который раз, — крайне широко распространенного вида отсутствует, или мягче — не выявляется. Поэтому можно предположить существование процессов, поддерживающих внутривидовую изменчивость и тем самым противостоящих внутривидовой дифференциации.

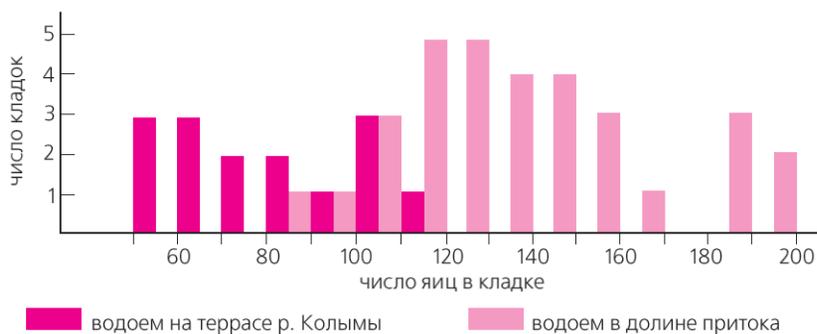
И их не трудно обнаружить. Практически во всем. Начиная с растянутости выхода из зимовки, о котором мы говорили. Велика разница в сроках развития икры в одной местности в различных водоемах (в верховьях Колымы 20—30 сут), а также между минимальной и максимальной продолжительностью развития в одном водоеме (также 20—30 сут), что близко к географическим различиям сроков развития [3]. Растянутость размножения и развития икры внешне вполне тривиальные явления, однако со

скрытыми и нередко далеко идущими и еще плохо известными следствиями. К примеру, как блестяще показал на лягушках мой коллега В.Г.Ищенко, судьба личинок, вылупившихся из быстро и медленно развивавшихся икринок, может быть различной [8].

Впрочем, подобная растянутость событий (как результат модификационной изменчивости, различий водоемов, биотических отношений, капризов погоды и т.д.) в определенном смысле пассивно способствует увеличению разнообразия. Однако есть и замечательные, как бы специально задуманные механизмы поддержания внутривидового разнообразия. Два из них видны, что называется, невооруженным глазом. Это — характер оплодотворения и пространственная организация популяций.

У углозуба оплодотворение наружное и нередко групповое (по крайней мере в маточных водоемах). Сказать только это, значит ничего не сказать. Брачное поведение наших тритонов многократно описано [3]. Не будем повторяться, только подчеркнем, что увидеть интересующий нас момент очень непро-

сто. Можно часами наблюдать за брачными токами самцов в надежде разглядеть таинство оплодотворения. Рассеившись по несколько штук, иногда и больше десятка, на затопленных веточках (или проволоке), они поджидают самку, принимая характерные позы, почти непрерывно двигая хвостом из стороны в сторону. Отличить самку от самца в воде сложно, если вообще возможно; поэтому так уж случается, что всегда пропускаешь (хотя смотришь на воду до рези в глазах) неожиданную всплывшую или из глубины, или из-под берега самку и видишь уже только клубок барахтающихся тел, то ли поднявший легкую илистую муть, то ли выбросивший облачко спермы, то ли и то и другое вместе. Из-за сплошного мельтешения и краткости происходящего детали не рассмотреть. События можно восстановить, лишь «склеивая» фрагменты разных наблюдений либо используя видеозапись, если успеешь включить видеокамеру. Очевидно, что в идеальном случае у каждого зародыша свой отец, и дети заведомо будут не похожи друг на друга. К сожалению,



Гистограмма распределения кладок по числу яиц (бассейн Верхней Колымы, 1981 г.). Количество яиц в кладке варьирует как в пределах одного водоема, так и между водоемами, удаленными друг от друга на несколько километров. В этом проявляется попытка популяции дивергировать и сформировать какую-никакую локальную субпопуляционную структуру — зачаток формы, варьитета, подвида. Однако процесс дальше не идет...

нию, ни генетические, ни фенетические исследования последних группового оплодотворения углозубов нам не известны.

Второй механизм поддержания высокого уровня изменчивости лежит в основе пространственной структуры популяций углозуба, на которой сказывается не столько характер растительности и увлажнения биотопов, сколько удаление от места нереста. В ближайших окрестностях водоемов обитают в большинстве своем взрослые особи, а осенью — и только что вышедшие из воды молодые; здесь же и те и другие зимуют [3]. На следующий год взрослые, отметав икру, останутся у водоема, а молодые уйдут, нередко на значительное расстояние (0.5–1.5 км), причем не только на болота, луга и в сырые леса, но и на безлесные крутые склоны и водоразделы с ксерофильными осочками, чахлой брусникой, редкими кустиками шиповника. Мы находили их вплоть до 750 м над ур.м. при том, что днище долины с озерами было на высоте около 450–500 м. Более того, в мезофитных листовенничниках на удалении от нерестилищ численность неполовозрелых углозубов может быть выше, чем на заболоченных территориях у водоемов (не счи-

тая только что вышедших из воды углозубят). Только через два—три года, достигнув половозрелости, углозубы будут стремиться попасть к нерестовым водоемам. Поэтому, вероятно, размножающаяся в данном водоеме группа обновляется не только за счет собственных потомков, но и за счет пришедших из «дальних странствий». Такая пространственная структура может нарушаться лишь при пересыхании части водоемов [3], и достигшие половозрелости особи вынуждены будут искать новые места нереста, что опять-таки приведет к еще большему перемешиванию. Заметим, что длительные и дальние перемещения углозубов способствуют, кроме «гомогенизации» популяции, еще и заселению новых территорий и в конце концов расширению ареала или же заполнению в нем еще не освоенных или временно пустующих пространств. Учитывая приведенные примеры о находках углозуба отнюдь не в типичных для амфибий местах, едва ли правильно считать его «животным с низкой способностью к расселению» [3].

Поддержание разнообразия может противостоять формированию относительно изолированных субпопуляционных

структур, прежде всего — локальных группировок у отдельных водоемов, которые, судя по всему, время от времени все-таки образуются (например — в годы с малым количеством осадков). Так, мы обнаружили, что в таких группировках может меняться не только размер кладки, но и средний размер особей. Более того, В.Г.Ищенко нашел достоверные различия в относительном росте головы и задних конечностей у особей, обитающих в водоемах под Екатеринбургом [3]. Таким образом, обособиться некоторые локальные популяции пытаются, однако дело, вероятно, далеко не заходит, и их индивидуальность быстро размывается.

Групповое оплодотворение самок в совокупности с перемешиванием локальных популяций, как кажется, поддерживает максимально возможную и главное — всюду (в идеале) одинаковую изменчивость. Впрочем, описанная схема не более чем предположение. Надо иметь в виду, что даже оценка следствий подбора пар земноводных только по возрасту, без проведения конкретных исследований, в значительной степени спекулятивна [9]. Что же можно предсказать, приняв к рассмотрению реальное разнообразие «брачующихся»: медленно и быстро развивавшихся в личиночном возрасте особей [8], выходцев из одной субпопуляции или — из разных и т.д.? Разумеется, ничего, кроме... интересующего нас увеличения разнообразия потомков.

Достаточно ли группового оплодотворения и перемешивания и будто бы вытекающего из этих процессов одинакового уровня изменчивости для объяснения отсутствия внутривидовой дифференциации на гигантском пространстве, занимаемом видом? Видимо, нет. Даже при одинаковой изменчивости остается еще разный климат (в крайних точках ареала — тундры и лесостепи), который свою роль в отборе должен играть. Однако на водном этапе жизни

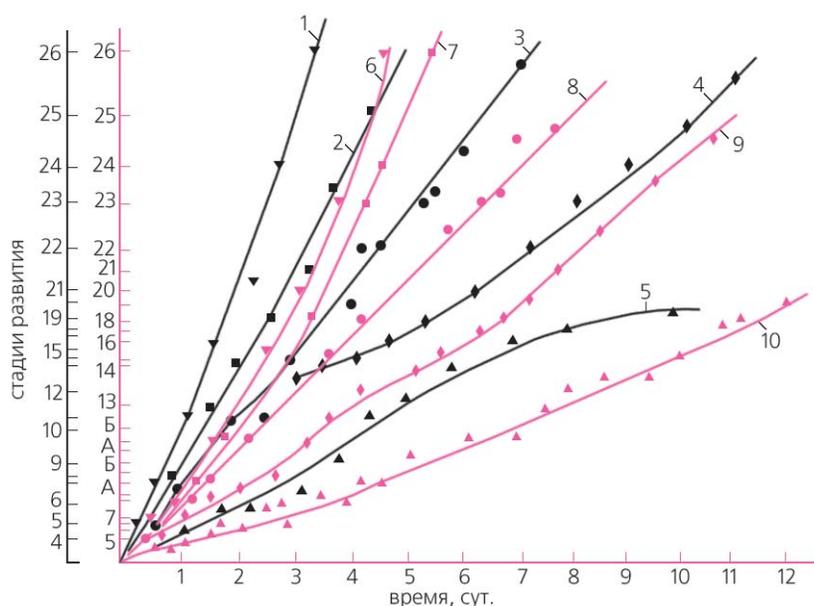
(т.е. в период размножения взрослых особей, эмбрионального и постэмбрионального развития) влияние климата на внутривидовую дифференциацию минимизировано, так как водная среда везде весной по температурам относительно выровнена, да к тому же, напомним, углозуб не требователен к ним. Но и на суше он чуть ли не безразличен (конечно — в оговоренных пределах) к температурам и многим другим факторам. Таким образом, роль климата может быть приглушенной, не столь значимой, как можно было бы ожидать.

Нельзя не упомянуть в разной степени изолированные популяции (в том числе абсолютно изолированные, например островные), которые также ничего не вносят во внутривидовую структуру углозуба. В таких изолятах важнейшая формообразующая роль может принадлежать генетико-автоматическим процессам; однако они пока не исследованы.

Как и в иных случаях анализа (скорее — гадания) причин бедности внутривидовой структуры широко распространенных видов, нам пока не остается ничего иного, как надеяться на будущие молекулярно-генетические исследования («заграница нам поможет»). Похоже, углозуб — прекрасная модель и идеального приспособленца, и монотипического вида.

* * *

Приведенные материалы однозначно свидетельствуют о колоссальной устойчивости (можно даже сказать — индифферентности) сибирского углозуба ко многим мыслимым и немыслимым факторам среды. Он универсально пластичен, а не специализирован. И эта его неприязнительность — дополнительное свидетельство эволюционной примитивности вида (по морфологии углозуб — одно из наиболее примитивных животных среди ныне живущих наземных позвоночных). Примитив-



Скорость развития зародышей углозуба (цветные кривые) и тритона в зависимости от температуры. Морфологически эквивалентные стадии расположены на одном уровне. Точки, отражающие данные по развитию тритона и углозуба при одной температуре, изображены одинаковыми символами, при 24°C — кривыми 1 и 6; при 20°C — 2 и 7; при 16°C — 3 и 8; при 12°C — 4 и 9; при 8°C — 5 и 10.

ные же существа приспособляются к среде, в том числе и экстремальной, по типу «подчинения»: не противостоят ей (ускоренным развитием, повышенной интенсивностью питания и роста, специализацией и т.д.), а следуют ей, будучи терпимы ко многим невзгодам жизни [7]. Углозуб свои выдающиеся способности, весьма вероятно, не выработал в пределах нынешнего ареала, а унаследовал от предков — обитателей не менее суровых, чем Сибирь, высокогорий Восточной Азии. Иными словами, он завоевывал Северную Евразию, будучи преадаптирован к ее экстремальным для амфибий в целом условиям.

Однако, если буквально следовать сказанному, мы вправе ожидать, что углозубы обитают в любой луже на всем пространстве ареала. У нас на Северо-Востоке это почти так. Но и здесь местами, где он явно должен быть, его почему-то нет или он редок. Нет его, как ни странно, в неко-

торых громадных регионах, например — на Тазовском и Гыданском полуостровах, а также в ряде мест южной тайги [3]. Наиболее яркий пример неполноты наших знаний об углозубе — отсутствие приемлемого объяснения обусловленности его распространения на западе, не имеющего выраженного географического рубежа. И дело явно не в климате, ибо на востоке — между Кореей и Чукоткой, где углозуб вездесущ, — перепады температуры, влажности и т.д. больше, чем на западе, тем не менее в Западной Европе его нет, а в окрестностях Екатеринбурга известны огромные популяции. Фактов мало, и можно предложить прямо противоположные версии: европейская часть ареала либо реликтовая [2], либо, напротив, молодая (так как территория пережила многократные оледенения в плейстоцене) и находится в стадии становления. В Сибири же плейстоценовая история была не столь катастрофична, главное — отсут-

ствовало покровное оледенение, и ареал мог сложиться на протяжении неизмеримо большего времени, возможно, начиная еще с верхнего плиоцена, в период деградации хвойного трансконтинентального гиперпояса (т.е. более двух миллионов лет назад). Не во время расцвета этого пояса, имевшего вполне мягкий и влажный климат [10], а именно в период распада. В противном случае углозуб мог бы проникнуть и в Северную Америку. Появившаяся в конце плиоцена на северо-востоке Азии мерзлота, как теперь хорошо понятно, не служила препятствием для распространения углозуба — подавляющая часть современного ареала лежит в области вечной мерзлоты.

Из предшествующего описания может сложиться впечатление, что из амфибий только углозуб индифферентен к мерзлоте, да и вообще к жуткому холоду; и эта способность обеспечила ему карт-бланш при колонизации Севера. Это так, но не совсем. В сравнении с другими тритонами (судя по их ареалам), вероятно, все справедливо, хотя и умозрительно — их зимняя холодостойкость не исследована, летом же у углозуба, похоже, есть некоторое преимущество — зависимость скорости развития от температуры (в диапазоне 12—24°C) у него несколько меньше (1.9 раз), чем у обыкновенного тритона (2.8 раз).

Применительно ко всем амфибиям это заключение не точно. Напомним, что на северо-востоке Якутии [11] и в Магаданской обл. сохранились с голоценового максимума реликтовые популяции бурых лягушек (*Rana amurensis* и *R. chensinensis*), когда они, видимо, сплошь занимали северо-восток Азии. Лягушки придерживаются принципиально иного — бесхитростного — стратегического пути адаптации к холоду: безбедно зимуют в воде, что избавляет от необходимости бороться с температурами ниже нуля. Зимуют, разумеется, в незамерзающих озерах (может быть, и в проточной воде) и одновременно не заморных, относительно рано оттаивающих, хорошо прогреваемых хотя бы на мелководьях (для быстрого развития икры и головастиков). А такие водоемы в мерзлотных районах редки. И не в каждом из них есть лягушки, ибо, если локальная популяция по любой причине вымрет, то уж раз и навсегда — лягушки из других мест не придут. В отличие от углозуба и вопреки известным сказочным персонажам лягушки на самом деле не очень-то и путешественницы, ибо привязаны к высокой влажности.

Иными словами, бурые лягушки на северо-востоке Азии успешно зимуют, а расселяться не могут. По сравнению с ними способность углозуба к расселе-

нию (конечно же — в сочетании с холодостойкостью, непритязательностью к пище, выбору водоема для размножения, наземным местообитаниям и пр.), и не только по долинам рек, болотам и прочим сырým местам, можно рассматривать в качестве ключевой и, подчеркнем, комплексной адаптации, способствующей формированию гигантского ареала. Выносливость к тяготам пути на языке экологической физиологии означает прежде всего способность мириться с недостатком пищи и воды. У углозуба, как и у прочих амфибий, замедленный обмен, поэтому с едой сложностей не возникает. С водой, возможно, хуже — все-таки амфибия. А сушь на месяц, а то и два (буквально — засуха) вполне рядовое дело в континентальных районах Северо-Восточной Азии, и углозубам, бродяжничающим в молодые годы, не выжить без специального умения. Способны ли углозубы без ущерба терять воду (т.е. подсыхать) или напротив — не терять ее (как степные жабы), осталось, к большому сожалению, пока (надеемся, до поры) без внимания исследователей.

Полагаем, что способен. Он на все способен... ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 980450036 и 010448921.

Литература

1. Банников А.Г. Жизнь животных: Земноводные, пресмыкающиеся. Т.4. Ч.2. М., 1969. С.39—44.
2. Сибирский углозуб: Зоогеография, систематика, морфология / Ред. С.Л.Кузьмин. М., 1994.
3. Сибирский углозуб: Экология, поведение, охрана / Ред. С.Л.Кузьмин. М., 1995.
4. Гаврилова М.К. Современный климат и вечная мерзлота на континентах. Новосибирск, 1981.
5. Кузьмин С.Л. Сибирский углозуб — уникал среди земноводных // Природа. 1993. №1. С.56—59.
6. Северцов А.С., Соколов В.Е. // Зоол. журн. 1974. Т.53. №3. С.402—411.
7. Чернов Ю.И. Природная зональность и животный мир суши. М., 1975.
8. Ищенко В.Г. // Экология. 1989. №2. С.12—19.
9. Мина М.В. // Зоол. журн. 1974. Т.53. Вып.12. С.1826—1832.
10. Баранова Ю.П., Биске С.Ф., Гончаров В.Ф. и др. Кайнозой северо-востока СССР // Тр. Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР. Вып.38. М., 1968.
11. Боркин Л.Я., Белимов Г.Т., Седалищев В.Т. Новые данные о распространении амфибий и рептилий в Якутии // Экология и фаунистика амфибий и рептилий СССР и сопредельных стран. Л., 1984. С.89—101.

Генетическая история коренного населения Северной Азии

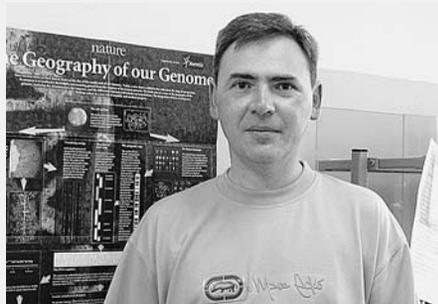
М.В.Деренко, Б.А.Малярчук

История коренных народов Северной Азии связана, как теперь установлено, и с развитием аборигенных неолитических племен, и с бурными этногенетическими событиями на юге Сибири, и с великими переселениями народов, когда носители культур бронзы и железа проникали на Крайний Север. Значительную роль играло также внедрение отдельных групп южного происхождения в среду северных этносов. И хотя этнические черты более или менее отчетливо начинают проступать в бронзовом веке, генетическая история народов уходит своими корнями в гораздо более древние эпохи.

Согласно археологическим и палеоантропологическим данным, Северную Азию человек современного типа начал заселять с верхнего палеолита. Однако число известных археологических памятников с этих территорий невелико, и все они сравнительно однородны, за исключением двух стоянок — Мальты и Бурети на Ангаре и ее притоке Белой. Археологи отмечают, что там традиции в пещерной живописи, обработке камня и т.д. напоминают европейские. Тем не менее в североазиатском верхнем палеолите преобладали архаичные формы



Мирослава Васильевна Деренко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики.



Борис Аркадьевич Малярчук, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник той же лаборатории.

Область научных интересов — методы молекулярной генетики в решении проблем происхождения народов.

каменного инвентаря. Палеоантропологические находки этого времени довольно редки и фрагментарны, однако в целом они свидетельствуют о доминировании монголоидных признаков у древнего населения Северной Азии. Между тем ряд фактов указывает на то, что степная часть Центральной

Азии — от Алтая, Хакасии, Тувы и до Внутренней Монголии — издревле была ареной взаимодействия групп монголоидного и европеоидного происхождения и, более того, представляла собой зону различных очагов европеоидного расообразования [1]. Популяции европеоидного и смешанного происхож-

дения уже широко расселились на указанных территориях в эпоху неолита, бронзы и раннего железа. Однако культурная преемственность археологических памятников уводит генезис неолитического населения Монголии и Алтае-Саянского нагорья к более раннему времени [1, 2].

На формирование антропологического облика современного населения Северной Азии в разное время заметное влияние оказывали отдельные группы европеоидов: в Западной Сибири это были восточноевропейские группы, а на юге Сибири, вероятно, южные европеоиды из Казахстана и Средней Азии.

Комплекс антропологических черт монголоидной расы у североазиатского населения тоже неоднороден. Связано это с тем, что в эпоху позднего палеолита в Азии формировался восточный очаг расообразования, а дальнейшая дифференциация монголоидов происходила в нескольких очагах. Один из них располагался в Центральной Азии и Забайкалье и рассматривался антропологами в качестве прародины сибирской общности народов. Последовательная дифференциация населения региона, начавшаяся в неолите, привела к возникновению многих расовых типов, которые и наблюдаются у современных этносов Сибири. Но нельзя исключать, что на формирование их антропологического облика влияли тихоокеанские монголоиды, комплекс признаков которых довольно четко проявляется в некоторых группах жителей Чукотки, Камчатки, Охотоморья и Приморья.

Итак, коренным народам Северной Азии присуще высокое антропологическое разнообразие, их этнолингвистическая история сложна, а область расселения, которое сопровождалось интенсивным межэтническим взаимодействием, обширна. Все это должно быть зафиксировано и в генетической истории североазиатских этносов.

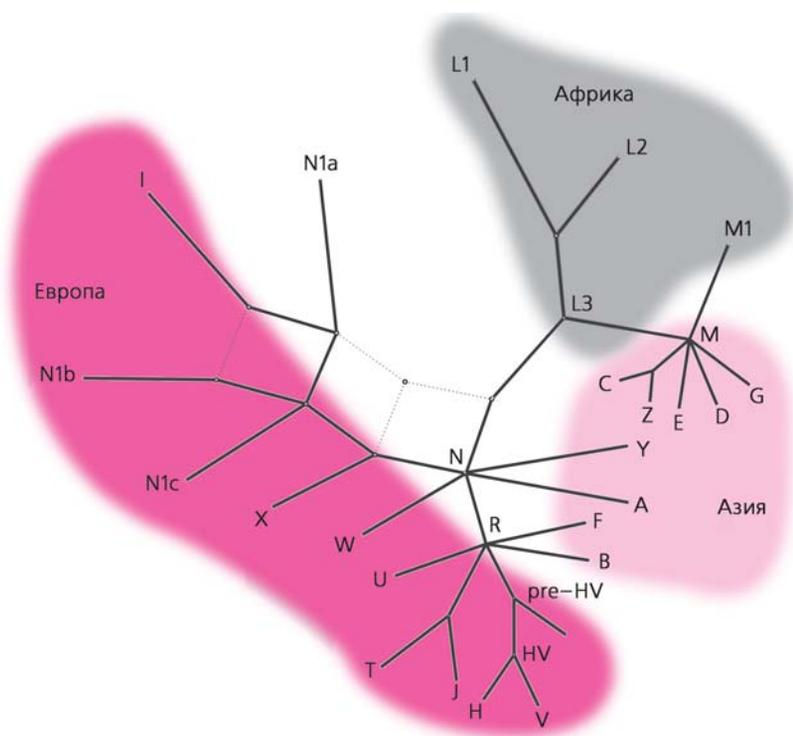
Генетические маркеры народов

Попробуем проследить генетическую историю и используем для этого анализ изменчивости митохондриальной ДНК (мтДНК) и нерекombинирующих областей Y-хромосомы.

Данные об изменчивости мтДНК (скорость накопления мутаций в ней в 5–10 раз превышает таковую в ядерных генах) служат для точной идентификации женских линий и детального описания генетических компонентов в смешанных популяциях. К настоящему времени установлено, что митохондриальные генофонды популяций человека представлены несколькими наборами групп из определенных типов (линий) ДНК, причем каждая из них ведет свое происхождение от единственной основательницы. Для большинства групп типов мтДНК установлена региональная специфичность. Так, в генофондах народов Европы и Западной Азии

(т.е. европеоидов) присутствуют главным образом 10 основных групп мтДНК (HV*, H, V, J, T, U, K, I, W, X), в генофондах монголоидных популяций Азии — тоже 10, но других групп (A, B, C, D, E, F, G, Y, Z, M*), а у негроидов — мтДНК макрогруппы L [3–5]. Заметим, что коренное население Америки характеризуется редуцированным набором групп — A, B, C, D и X. Чтобы определить, откуда и когда происходили миграции, которые привели к современному генофонду анализируемой популяции, необходимо учитывать, что при его формировании была перенесена часть генетического разнообразия из популяций-основательниц. Кроме того, нужно располагать результатами филогенетического анализа мтДНК.

Мужской «аналог» мтДНК — Y-хромосома, наследуемая по отцовской линии. Наиболее информативен для целей этнической генетики нерекombинирующий участок Y-хромосомы (его длина превышает 60 млн пар



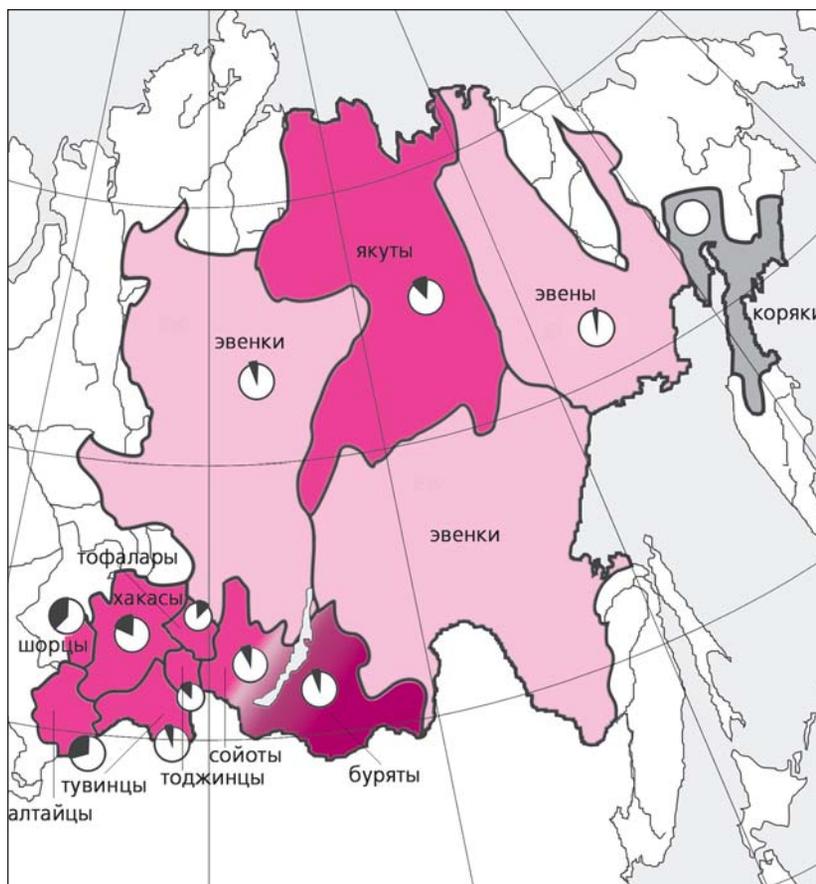
Эволюционное дерево митохондриальной ДНК человека.

нуклеотидов), в котором уже идентифицировано более 250 полиморфных локусов. В их числе и медленно эволюционирующие диаллельные маркеры, и быстро эволюционирующие микро- и минисателлитные локусы. Следовательно, мутации, накапливающиеся в мужских линиях в процессе эволюции, тоже служат важным источником информации об основных этапах дифференциации этнорасовых групп (популяций) и о происхождении конкретных индивидумов. К настоящему времени установлено, что распределение маркеров Y-хромосомы специфично для разных популяций мира. Например, только коренному населению Америки свойствен уникальный вариант этой хромосомы с мутацией в локусе DYS199, наличие которой свидетельствует о едином происхождении большинства мужских линий. Более того, удалось выяснить, что предковыми вариантами «американского» типа мужской хромосомы были палеоевропейские линии. Именно на их основе сформировались и некоторые варианты Y-хромосомы, распространенные в современных азиатских и европейских популяциях.

Что касается коренных народов Сибири, то большинство работ, посвященных анализу полиморфизма мтДНК или Y-хромосомы, связаны лишь с проблемой происхождения аборигенного населения Америки. И только в последние годы изучение эволюционной истории конкретных этнических групп и жителей отдельных регионов Северной Азии стало самостоятельной научной задачей [6–10].

Сходства и отличия по материнской линии

Мы исследовали структуру и разнообразие генофондов 12 этнических групп коренного североазиатского населения. Суммарную выборку составили 936 человек из различных лингвистических

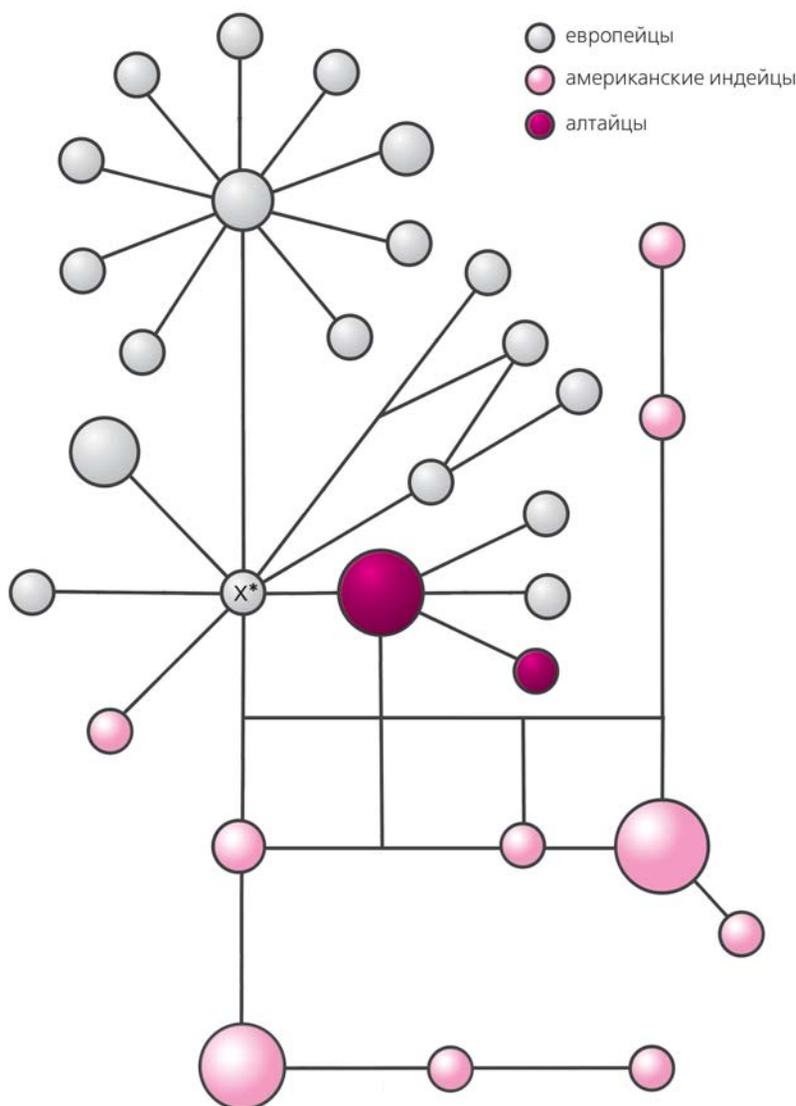


Ареалы североазиатских народов и диаграммы, отражающие соотношение монголоидных (белый фрагмент) и европейцев линий мтДНК в каждой этнической группе. Генофонды этих народов, судя по мтДНК, содержат обе линии в разной пропорции, а по лингвистической принадлежности составляют две языковые семьи — алтайскую и палеоазиатскую, причем к последней принадлежат только коряки. Первую же семью образуют три языковые группы: тюркская (алтайцы, хакасы, шорцы, тувинцы, восточные тувинцы, или тоджинцы, тофалары, сойоты и якуты), монгольская (буряты) и тунгусо-манчжурская (эвенки и эвены).

групп алтайской и палеоазиатской языковых семей. Первую семью образовали три группы: тюркская (алтайцы, хакасы, шорцы, тувинцы, восточные тувинцы, или тоджинцы, тофалары, сойоты и якуты), монгольская (буряты) и тунгусо-манчжурская (эвенки и эвены). Представителями палеоазиатской языковой семьи были коряки.

Митохондриальные генофонды сибирских популяций оказались весьма разнообразными. Наряду с типично монголоидными группами мтДНК (M*, M7, M8, M9, M10, C, D, G, Z, A, B, F,

N9a, Y), частота встречаемости которых меняется от 64.3% у шорцев до 92.4% у эвенков, присутствуют и европейские линии (H, HV, I, J, K, T, U, N1a, X). Примечательно, что частота этих линий мтДНК увеличивается в западном направлении и достигает максимума (35.7%) в популяциях шорцев и алтайцев. Наличие множества генетических вариантов обусловлено в первую очередь разнообразием комбинаций групп мтДНК, но преобладает обычно одна из них. Так, в генофондах бурят и сойотов доминирует группа D,



Филогенетическая сеть линий мтДНК группы X (предковый тип обозначен звездочкой), отражающая связь между европейцами, американскими индейцами и алтайцами. Алтайские X-линии, как видно, занимают промежуточное положение между европейскими и североамериканскими, что свидетельствует о заселении Америки из Центральной (или Южной) Сибири. Размеры кружков пропорциональны количеству индивидуумов, имеющих определенный тип мтДНК.

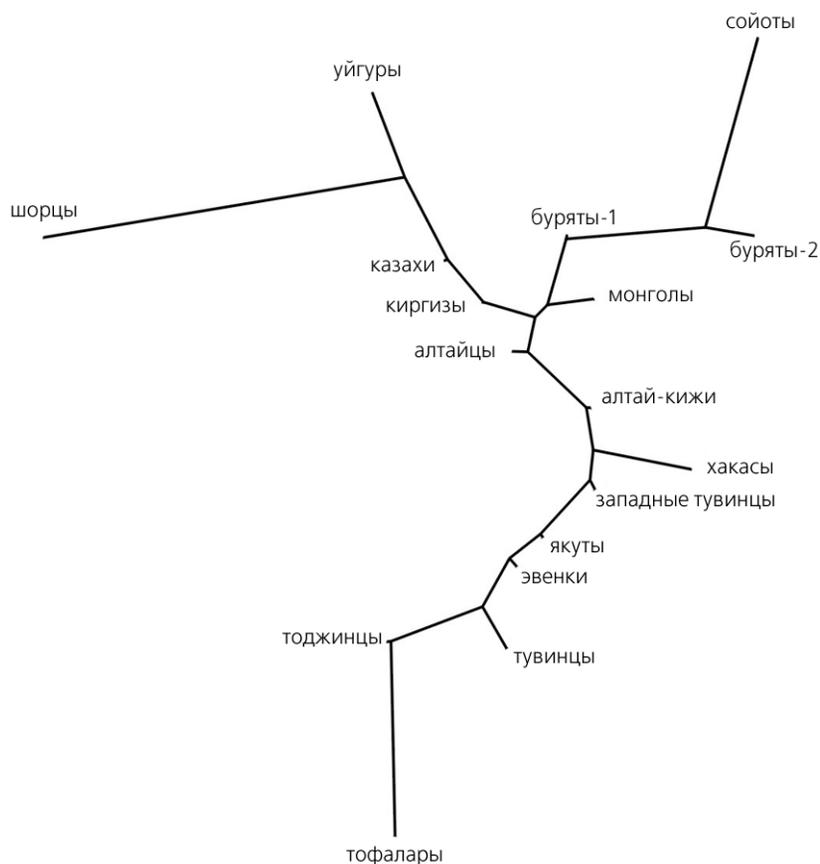
у тувинцев, тоджинцев и тофаларов — группа С (у последних ее частота наивысшая в Азии — 62%), у шорцев — типы мтДНК из группы F (42.9%), с высокой частотой (22%) обнаруженные также у хакасов. Интересно, что ранее эти типы отмечались (с частотами до 32%) только у южных китайцев и вьетнамцев.

Уникальность генофондов сибирских популяций — присутствие нескольких подгрупп мтДНК из группы G. У коряков и эвенков с высокими частотами встречается подгруппа G1, у бурят — G2, а у восточносаянских народов — G3 и G4. Подобная разветвленность мтДНК группы G свидетельствует в пользу ее

значительной древности в генофондах сибирских народов. Возраст подгруппы G2 составляет не менее 27 тыс. лет, т.е. произошла она в позднем палеолите, а значит, группа G в целом — еще раньше. Мы обнаружили и два варианта группы Z. Один из них (Z1), самый древний, найден у населения Южной Сибири, второй (Z2), более молодой, — у жителей ее северо-восточной части, причем у эвенков частота Z2 достигает 30%. Интересно, что Z2-типы довольно широко распространены в генофондах народов Северной Европы, в том числе саамов, имеющих в облике черты монголоидной расы. У них кроме Z2 обнаружена еще и специфическая подгруппа D5 [11]. Важно отметить, что и Z2-, и D5-типы мтДНК — компоненты генофондов алтае-саянских народов. А это наводит на мысль об их участии в этногенезе саамов.

МтДНК группы В, входящие в состав монголоидного компонента сибирских популяций, раньше были выявлены у народов Центральной и Восточной Азии, а также у индейцев Америки. В южносибирских популяциях ее обнаружил Р.И.Сукерник с коллегами в 1996 г. В настоящее время установлено, что ареал носителей группы В в Южной Сибири охватывает Алтае-Саянский и Байкальский регионы, вплоть до Якутии, а максимальная частота этой мтДНК, зарегистрированная нами у западных тувинцев, составляет около 13%. Мало того, у южносибирских народов встречаются две разновидности группы В — В1 и В2, которые широко распространены и в более южных, центральноазиатских, популяциях. О давних генетических связях между населением Южной Сибири и Центральной (или) Восточной Азии свидетельствует еще один факт: «неканонические» группы мтДНК из макрогруппы М (М7, М8, М9, М10, М*), характерные преимущественно для этнических общностей Китая, мы обнаружили у южносибирских народов. Между тем в Юж-

ной и Восточной Сибири мы выявили митохондриальные линии, не известные прежде у других азиатских популяций. В первую очередь это группы N1a, I и X, которые принадлежат к одному из наиболее древних «узлов» филогенетического дерева мтДНК человека. Эти группы в полном составе присутствуют в генофонде алтайцев. Заметим, что наличие у них X-мтДНК проясняет историю происхождения коренного населения Америки. Ранее было показано, что группа X распределена мозаично: у населения Европы, Кавказа, Западной Азии (с невысокими частотами), но и у североамериканских индейцев якима, навахо, нуу-чах-нулс, оджибва (до 30%). Поскольку X-мтДНК найдена также в костях из захоронений доколумбовой эпохи, эта группа не могла быть привнесена в генофонд индейцев современными европеоидами. Детальный филогенетический анализ нуклеотидных последовательностей свидетельствует о едином происхождении европейских и американских X-мтДНК, а время их расхождения оценивается в 12–36 тыс. лет [12]. Таким образом, группа X вместе с A, B, C и D относится к числу пяти линий-основательниц, сформировавших генофонды коренного населения Америки. Прежде группу X не находили ни в Центральной, ни в Восточной Азии, включая Сибирь, и потому считалось, что в заселении Америки участвовали древние европеоиды, не оставившие генетических следов своего пребывания в Азии. Но алтайские варианты X-мтДНК, отличные как от европейских, так и от американских, занимают промежуточное положение между ними в филогенетических построениях [13]. Тем самым опровергается возможность появления этих вариантов за счет современной европеоидной примеси. Напротив, наши данные свидетельствуют, что в первичном заселении Америки участвовали выходцы из Южной Сибири, антропологический со-



Филогенетическое дерево, построенное на основе изменчивости мтДНК и иллюстрирующее эволюционные взаимоотношения этнических групп Сибири, Средней (уйгуры, казахи, киргизы) и Центральной Азии (монголы).

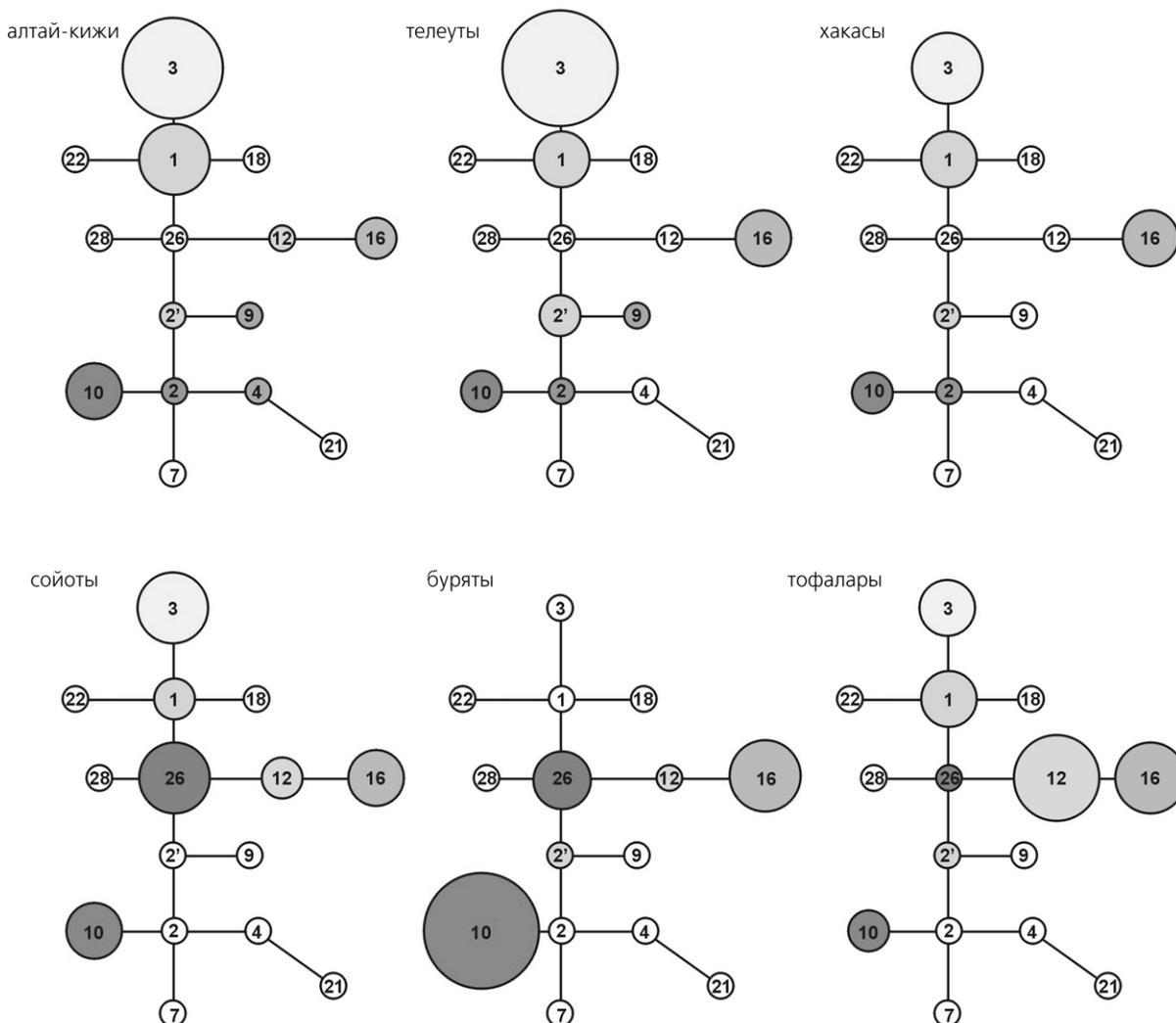
став которых уже тогда, в эпоху верхнего палеолита, был разнородным.

В целом, судя по изменчивости мтДНК у населения Северной Азии, его генофонды формировались на смешанной генетической основе. Ее составили не только разнообразные монголоидные линии, но и европеоидный компонент, который выражен в разной степени в большинстве исследованных популяций.

Гетерогенность генофондов свойственна и коренному населению Южной Сибири, за исключением тофаларов — географически изолированной группы восточносаянских тюрков. Низкое генетическое разнообразие тофаларов может быть обусловлено их малочисленностью, обособленностью

и эффектом инбридинга. Известно, что население пос. Алыгджер, исследованного нами, сформировалось в основном из двух небольших довольно изолированных инбредных родоплеменных групп: Чогда и Кара-Чогда. Очень высокая частота (62%) типов мтДНК группы C у их представителей свидетельствует, что генофонд основан малым числом женских линий. Хотя генетически тофалары обособлены от других сибирских народов, в филогенетическом дереве они соседствуют с географически ближайшими к ним тувинцами и тоджинцами.

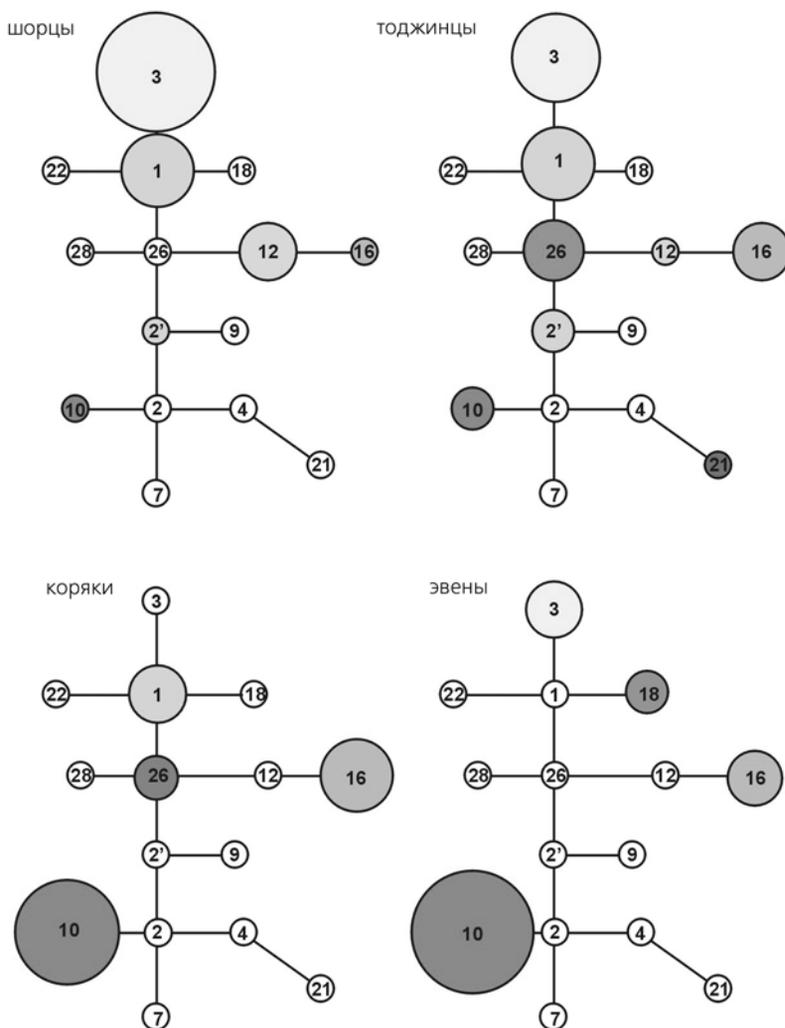
Подобная дифференциация восточносаянских этнических групп отмечалась и ранее (по белковому полиморфизму). Ю.Г.Рычков с коллегами полага-



ли, что современная популяционно-генетическая картина Восточных Саян сложилась из трех генетических разобщенных групп, следы этого смешения сохраняются в генофондах тофаларов, тоджинцев и тувинцев [14]. Впоследствии исходная гетерогенность усилилась за счет случайных генных миграций, происходивших от Тувы через Тоджу к Тофаларии. Это подтверждается и другими данными. Так, антропологический тип меняется в том же направлении: тувинцы принадлежат к центральноазиатскому типу, тоджинцы — к смешанному, тофалары — к катангскому варианту байкальского типа. Однако лингвистическое замещение, подобное смене самодийского языка в Тофала-

рии на тюркский, который проник с юга, из-за хребта Восточного Саяна, по всей видимости, не сопровождалось сменой населения и нарушением генетической преемственности. Например, тюркоязычные сойоты генетически сходны с монголами и монголоязычными бурятами, а западные эвенки, относящиеся к тунгусо-манчжурской группе языков, в генетическом отношении близки к их восточным соседям — якутам. Возможно, сходство генофондов западных эвенков, тувинцев и тоджинцев обусловлено участием в их этногенезе тюркоязычного населения из Центральной Азии. Об этом же свидетельствует наличие в генофонде западных эвенков (и якутов) мтДНК группы В, которая

наиболее распространена среди центральноазиатских и южносибирских народов, но отсутствует у тунгусо-манчжурских по языку эвенков, живущих на северо-востоке Азии. Некоторые несоответствия в филогенетическом положении бурят, тувинцев, якутов и западных эвенков прослежены и по антропологическим типам. Первые три народа (и частично тофалары) относятся к центральноазиатскому антропологическому типу, в то время как эвенки — к байкальскому. Между тем высокое генетическое сходство западных эвенков и якутов может быть результатом формирования их генофондов на основе почти одних и тех же материнских линий мтДНК. Ведь известно, что якуты по мере их



Филогенетические схемы, построенные по изменчивости Y-хромосомы. Видно, что проанализированные 15 гаплогрупп (обозначены числами) встречаются в генофондах сибирских народов с разной частотой (она пропорциональна размеру кружка).

расселения в Сибири ассимилировали многих эвенков.

Этнические связи по Y-хромосоме

Генетическая история населения Южной и Восточной Сибири еще ярче, чем в изменчивости мтДНК, отражена в разнообразии мужской половой хромосомы. Мы исследовали переменчивость 15 диаллельных локусов нерекombинирующей части Y-хромосомы, которые характеризуют ее основные группы у населения Евразии. Группы Y-хромосомы (традиционно их обозначают HG — от англ. **h**ap**l**og**o**u**p**), как и мтДНК, — это отдельные линии ДНК, идущие от

общего предка, но отличающиеся друг от друга мутациями. Из-за низкой мутационной скорости диаллельных локусов по Y-группам удается исследовать самые ранние этапы истории человечества.

В обобщенном генофонде коренного населения Северной Азии мы выявили 12 линий Y-хромосомы, причем почти у всех сибирских аборигенов обнаружены группы HG1 и HG3. С максимальными частотами они встречаются у южных алтайцев (алтай-кижи и телеутов) и шорцев, с минимальными — у бурят. Известно, что T-аллель локуса 92R7, полиморфизмом которого маркируется группа HG1, широко распространен среди населения Евразии, а так-

же индейцев Америки и представляет собой древнюю палеоевропейскую ветвь, связанную своим происхождением с народами Центральной Евразии [15]. HG1 обнаружена у населения Индии (частота 21.7%), Европы (средняя частота 37%, а у ирландцев она достигает 98.5%), Западной Сибири (у кетов 83.3%, у селькупов 76.2%), а также у аборигенов Америки (средняя частота 35.2%) [15–17].

Исследователи полагают, что подобная распространенность 92R7-T-типов Y-хромосомы может быть обусловлена как древними миграциями населения из Центральной Евразии в Европу и Америку, так и относительно недавним (примерно 7.5 тыс. лет назад) проникновением

представителей курганной культуры из Центральной Азии на Индийский субконтинент, в Европу и Сибирь.

Что касается группы HG3, идентифицируемой полиморфизмом гена SRY1532, то она практически отсутствует у этносов Африки, Восточной Азии и Америки, но обнаружена с высокими частотами в Центральной и Восточной Европе (до 50% у русских, поляков и словаков), Юго-Западной Азии (до 32% в популяциях Индии, Пакистана и Ирана) и на Алтае (с частотой 55%) [15–17].

Рассмотрим теперь распределение еще нескольких групп Y-хромосомы, распространенных у населения Северной Азии. Группа HG10 преобладает, как установлено в наших исследованиях, в генофондах бурятов и сойотов, живущих в Байкальском регионе, а также эвенов и коряков из Северного Охотоморья. HG10, наряду с группой HG1, рассматривается в качестве одного из главных «основателей» мужского генофонда аборигенов Америки. Здесь ее появление, полагают Т.М.Карафет с коллегами, связано с миграциями из Восточной Сибири, включая Приамурье. Именно в этом регионе обнаружены варианты группы HG10, наиболее близкие тем, что наблюдаются, например, у индейцев навахо.

Таким образом, в настоящее время с достаточной долей уверенности можно считать, что палеопопуляции Южной и Восточной Сибири были источником нескольких (по меньшей мере — двух) миграций в Америку. В ходе одной из миграций — алтае-саянской — могли попасть, среди прочих типов Y-хромосомы и мтДНК, палеоевропеоидные мужские линии группы HG1, на основе которой сформировался чисто «американский» тип Y-хромосомы — группа HG18. В период другой волны расселения, шедшего из Байкальского региона, по всей видимости, распространилась группа HG10.

Для современного населения Сибири характерна одна из наиболее частых в Северной Евразии (от Северо-Восточной Азии до Восточной Европы) группа HG16. В генофондах этнических общностей Южной и Восточной Сибири ее частота меняется от 2% у шорцев до 55.6% у якутов; у коряков и эвенов ее частота составляет около 30%. Примечательно, что в генофондах этносов Алтае-Саянского региона присутствует также группа HG12 (предковая по отношению к HG16), максимальная частота которой — до 35% — зарегистрирована нами у шорцев и тофаларов. Необходимо отметить, что группы HG12 и HG16 нельзя однозначно отнести к числу

монголоидных или европеоидных, да и их генетический вклад в происхождение народов Северной Евразии трактуется по-разному, равно как и само возникновение групп. Тем не менее обнаруженная нами высокая частота встречаемости группы HG12 и наличие группы HG16 в алтае-саянских популяциях могут указывать на их сибирские корни. Не исключено, что в генофонды народов Восточной Европы эти группы привнесены гуннами, чьи миграции документированы исторически.

*

Итак, благодаря молекулярно-генетическим исследованиям к настоящему времени детально охарактеризованы генофонды многих этносоциальных групп. Казалось бы, по распределению маркеров мужских и женских линий ДНК в современных популяциях человека, можно зафиксировать лишь последний кадр их истории. Но филогеографический анализ молекулярно-генетических данных позволяет проследить процесс формирования генофондов в ретроспективе. А значит, и познать историю народов мира и их общностей. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 99-06-80430.

Литература

1. Алексеев В.П. Историческая антропология и антропогенез. М., 1989.
2. Алексеев В.П., Гохман И.И. Антропология азиатской части СССР. М., 1984.
3. Wallace D.C. // *Am. J. Hum. Genet.* 1995. V.57. P.201–223.
4. Macaulay V., Richards M., Hickey E. et al. // *Am. J. Hum. Genet.* 1999. V.64. P.232–249.
5. Yao Y.-G., Kong Q.-P., Bandelt H.-J. et al. // *Am. J. Hum. Genet.* 2002. V.70. P.635–651.
6. Schurr T.G., Sukernik R.I., Starikovskaya Y.B., Wallace D.C. // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1999. V.108. P.1–39.
7. Derenko M.V., Malyarchuk B.A., Dambueva I.K. et al. // *Hum. Biol.* 2000. V.72. P.945–973.
8. Деренко М.В., Денисов Г.А., Малайчук Б.А. и др. // *Генетика.* 2001. Т.37. №10. С.1402–1410.
9. Степанов В.А., Харьков В.Н., Солтобаева Ж.О. и др. // *Генетика.* 2001. Т.37. №2. С.256–259.
10. Derbeneva O.A., Starikovskaya E.B., Wallace D.C., Sukernik R.I. // *Am. J. Hum. Genet.* 2002. V.70. P.1009–1014.
11. Sajantila A., Lahermo P., Anttinen T. // *Genome Res.* 1995. V.5. P.42–52.
12. Brown M.D., Hossaini S.H., Torroni A. et al. // *Am. J. Hum. Genet.* 1998. V.63. P.1852–1861.
13. Derenko M.V., Grzybowski T., Malyarchuk B.A. et al. // *Am. J. Hum. Genet.* 2001. V.69. P.237–241.
14. Рычков Ю.Г., Перевозчиков М.В., Шереметьева В.А. и др. // *Вопр. антропологии.* 1969. Вып.31. С.3–32.
15. Santos F.R., Pandya A., Tyler-Smith C. et al. // *Am. J. Hum. Genet.* 1999. V.64. P.619–628.
16. Karafet T.M., Zegura S.L., Posukh O. et al. // *Am. J. Hum. Genet.* 1999. V.64. P.817–831.
17. Rosser Z.H., Zerjal T., Hurler M. et al. // *Am. J. Hum. Genet.* 2000. V.67. P.1526–1543.

«Нобелиана» Николая Николаевича Боголюбова

А.М.Блох,
 доктор геолого-минералогических наук
 Москва

«Печально осознавать, что такие великие ученые, как Гамов, Боголюбов, Зельдович, Колмогоров, которые, безусловно, являлись яркими личностями XX века, не стали нобелевскими лауреатами», — отмечал Илья Пригожин [1; С.584]. Эта мысль звучала в его публичных выступлениях не раз. Имеется его свидетельство о номинировании им академиком Я.Б.Зельдовича и А.Н.Колмогорова в конце 70 — начале 80-х годов*. Георгий Гамов, работавший с 1934 г. в Соединенных Штатах, становился номинантом Нобелевского комитета по физике дважды, в 1943 и 1946 гг.; в первый раз его номинатором был стокгольмский профессор Ханнес Альфвен, будущий нобелевский лауреат, удостоенный награды в 1970 г. за фундаментальные исследования в области физики плазмы, а во второй — француз Жан Тибо из Лионского универ-

* Помимо Зельдовича и Колмогорова Пригожин в те же годы выдвигал физико-химиков М.В.Волькенштейна и А.М.Жаботинского; последнего как одного из первооткрывателей знаменитой реакции БЖ (Белюсова—Жаботинского), или «химических часов», — неоднократно. Илья Пригожин рассматривает это достижение как экспериментальный фундамент под созданную им теорию неравновесной (вдали от равновесия) термодинамики, за которую в 1977 г. был удостоен Нобелевской премии по химии. — По устному сообщению Пригожина.

© А.М.Блох

ситета. Однако перечисленные номинанты не встретили понимания в Стокгольме.

Существенно больше сведений сохранилось в отечественных архивах о «нобелиане» Николая Николаевича Боголюбова — блестящего математика и физика-теоретика, основателя советских научных школ в нелинейной механике, статистической физике и теории квантов. Его достижения — достижения истинного первопроходца в фундаментальной науке. Потому повышенный интерес со стороны экспертов и членов Нобелевского комитета к нему был бы вполне закономерен. А причины, по которым фигура Боголюбова не получила должного признания в Стокгольме, были все те же. Как и в случае с В.И.Векслером и Е.К.Завойским [2], определялись они, по большому счету, той специфической обстановкой, в которой вынуждены были жить и творить советские ученые.

Одним из высочайших пиков интеллектуального провидения был выход Боголюбова на самостоятельное построение микроскопической теории сверхпроводимости. История этого фундаментального решения, ставшего волею судеб историей его заочного соперничества с группой американских физиков, заслуживает особого рассмотре-

ния. Тем более что именно этот научный прорыв неоспоримо тянул на Нобелевскую премию.

Определяющей основой для создания теории послужила феноменальная догадка 26-летнего американского физика-теоретика Леона Купера из Иллинойского университета, коллеги магистрата Джона Бардина, лауреата Нобелевской премии по физике 1946 г. за создание транзистора. Чуть ли не на следующий день после обнародования столь радостного для его шефа вердикта, а именно в ноябре 1956 г., Купер опубликовал без преувеличения плодоносную гипотезу, утвердившуюся в истории физики прошедшего столетия под названием куперовских пар.

В противовес привычным представлениям о том, что между электронами проводимости нет и не может быть взаимопривлечения, Купер смело обосновал принципиально иной взгляд. Он доказал, что при определенных обстоятельствах, благодаря воздействию слабых поверхностных сил вмещающей кристаллической матрицы, такие электроны могут приобрести способность к объединению в пары. Предшествовавшие оценки роли кристаллической решетки в возникновении сверхпроводимости не вызывали энтузиазма у исследователей; в лучшем случае ей отводились



Николай Николаевич Боголюбов.

второстепенные места. Потому краткая заметка мало кому известного автора [3], в которой тот убедительно суммировал теоретические предпосылки для такого объединения, была воспринята в научном мире как сенсация. Среди тех, кого увлекла перспектива наконец-то найти управу на проблему сверхпроводимости, не подававшуюся до того строгому осмыслению, был и Боголюбов.

Когда свежая научная концепция подвигает независимых друг от друга исследователей на мощный штурм пока не понятого физического явления, положительного результата можно ждать в любой момент и на любом континенте. Идея куперовских пар была именно такой концепцией, а немалое число заинтересовавшихся ею ученых предрекало жесткую гонку за приоритет открытия. Гонку, при которой счет переходит на месяцы и недели...

Победителем в заочном соревновании оказалась группа

американских физиков, возглавляемая Джоном Бардином и включавшая в себя виновника вселенских волнений Леона Купера и его погодка Джона Роберта Шриффера. Уже в апреле 1957 г. в печати появилась их краткая заметка об успешном построении законченной теории сверхпроводимости, в которой авторы суммировали основные ее позиции. К июню того же года было завершено развернутое обобщение полученных результатов. Чтобы застолбить приоритет, они оперативно воспользовались утвердившейся к тому времени на Западе практикой пилотной рассылки по научным учреждениям препринта статьи (разрыв во времени появления препринта и журнальной публикации мог достигать нескольких месяцев).

Параллельно с группой Бардина на другом полушарии, в Москве, над тем же успешно работал Боголюбов. Как часто в науке бывает, советский ученый, независимо от американ-

цев, вышел на решения, по главным позициям совпадавшие с выводами трех американских авторов, а в ряде положений даже превосходившие их. Это произошло осенью 1957 г., когда в разных странах по рукам ученых уже ходил упомянутый препринт. Боголюбов же на сей счет оставался в полном неведении. Разобщенность нашего и зарубежного научных сообществ давала себя знать и в отечественные годы.

Обо всех этих приоритетных перипетиях в 1958 г. поведали в прессе советские физики А.А.Абрикосов и И.М.Халатников. Пальму первенства они, естественно, отдали американцам. И с полным пиететом по отношению к Боголюбову упомянули, что он «предложил несколько оригинальных методов, позволяющих получить результаты Бардина, Купера и Шриффера» [4].

Публикация ближайших сотрудников и учеников Л.Д.Ландау, давно своим свободомыслием вызывавшего аллергию на Старой площади, спровоцировала очередную истерику в партийных кругах. Объективная констатация очередности конкурирующих публикаций была расценена как результат «узкогрупповых интересов», как «серьезный ущерб престижу советской науки» и пример «научной недобросовестности обоих авторов».

Почин принадлежал секретарю городского комитета КПСС Дубны. Письмом от 17 октября 1958 г. партийный руководитель городка счел необходимым напомнить высшему руководству в ЦК КПСС, что директор институтской лаборатории теоретической физики академик Н.Н.Боголюбов в апреле того же года был удостоен Ленинской премии «за разработку методов в квантовой теории поля и статистической физике, приведших, в частности, к обоснованию явлений сверхтекучести и сверхпроводимости», а Московский университет присудил ему за выдающиеся научные достижения Ломоносовскую

премию 1958 г. Далее автор письма обратил внимание адресатов на неприемлемость позиции редколлегии журнала «Успехи физических наук», допустившей публикацию статьи Абрикосова и Халатникова, «в которой вся заслуга создания теории сверхпроводимости приписывается американским ученым». В заключение секретарь горкома просил «Центральный Комитет партии принять соответствующие меры» [5; Оп.35. Ед.хр.70. Л.194—195].

С подачи дубненского секретаря цековский Отдел науки, где давно точили зуб на малоуправляемого Ландау и его молодых сподвижников, предпринял свое расследование и разработал собственный план координирующих действий. В итоге в отделе появилось письмо секретаря партбюро Математического института АН СССР. Датировано оно 26 ноября 1958 г., т.е. поступило на Старую площадь спустя полтора месяца после сообщения из Дубны. Информация же, за подписью руководства отдела науки, оказалась в секретариате ЦК уже на следующий день, 27 ноября. Авторы информации тем не менее успели учесть в ней не только аргументы дубненского секретаря, но и те, что содержались в послании из Математического института. В частности, указывалось на личную ответственность главного редактора «УФН» Э.В.Шпольского.

В Секретариате ЦК предложения отдела науки о достойном наказании тех, кто нес ответственность «за неправильное освещение в журналах АН СССР работы, удостоенной Ленинской премии», получили полную поддержку. Но очередная «порка на конюшне» так и не состоялась. 19 декабря вся документация по готовившемуся делу была сдана в архив.

Напрашивается предположение, что в ЦК КПСС нашлись трезвые головы, которые сумели разъяснить инициаторам новой «охоты на ведьм», сколь не ко времени их активность. Особенно в момент, когда в Стокгольме

предстоит вручение Нобелевской премии по физике советским ученым — П.А.Черенкову, И.Е.Тамму и И.М.Франку.

Свою положительную роль могли сыграть и отзвуки «бунта академиков», происшедшего в Отделении физико-математических наук на рубеже 1957 и 1958 гг. Это неординарное событие подробно уже анализировалось [1; С.314—316, 341—342]. Напомним о нем вкратце — о победе, что одержали ученые-физики над консервативными чиновниками из президиума АН СССР.

Осенью 1957 г. в академический президиум поступили из Стокгольма приглашения советским номинаторам прислать свои предложения по кандидатурам на присуждение премий 1958 года. Главный ученый секретарь президиума, посчитав за святую обязанность не пускать это важное мероприятие на самотек, передал в отделения физико-математических наук и химических наук соответствующие рекомендации. В частности, по физике было предложено келейно подготовить номинации за открытие черенковского эффекта только на одного П.А.Черенкова и сверхтекучести — на П.Л.Капицу. Подготовленная таких предложений секрета не составляла: И.Е.Тамм в первом случае и Л.Д.Ландау — во втором политически никак не могли устривать партийные органы, вплоть до ЦК КПСС.

Эту операцию политическое начальство из президиума АН СССР предполагало провести без огласки. Однако утечка информации все же произошла. Возникший скандал в итоге завершился поистине революционными последствиями, которые оказали воздействие на все последующие контакты советских ученых с нобелевскими учреждениями. Именно в начале 1958 г., в явочном порядке, минув иностранный отдел президиума АН СССР, за подписями академиков А.И.Алиханова, Н.Н.Андреева и Л.Д.Ландау ушла

номинация на П.А.Черенкова, И.Е.Тамма и И.М.Франка. Они в том году и стали первыми отечественными лауреатами Нобелевской премии по физике.

На фоне столь высокого успеха советской науки скоропалительный призыв к новому насилию не вызвал энтузиазма у разумной части членов Секретариата ЦК КПСС. И так, в связи с публикацией Абрикосова и Халатникова ответных шагов не последовало. Э.В.Шпольский, главный редактор «УФН», избег, казалось бы, неминуемого отстранения от должности. Авторы крамольной статьи также избежали «оргвыводов».

Через год после описанных событий в отделе науки ЦК вновь прозвучала фамилия Николая Николаевича. 21 декабря 1959 г. в адрес Секретариата ЦК КПСС было направлено сообщение, что секретарь ЦК КП Армении информировал отдел о желании академика В.А.Амбарцумяна выдвинуть Боголюбова на Нобелевскую премию 1960 г. «за выдающиеся работы по теоретической физике». «Считаем целесообразным, — говорилось далее, — разрешить т.Амбарцумяну выдвинуть кандидатуру т.Боголюбова <...> Президент АН СССР т.Несмеянов это предложение поддерживает» [5; Оп.35. Ед.хр.114. Л.71].

Неделю спустя, 28 декабря, академик И.И.Артоболевский, специалист в области теории машин и механизмов, письменно поставил в известность главного ученого секретаря президиума АН СССР А.В.Топчиева о своем аналогичном желании. При этом, не в пример Амбарцумяну, он отметил конкретные достижения номинанта «по построению микроскопической теории сверхпроводимости» [6].

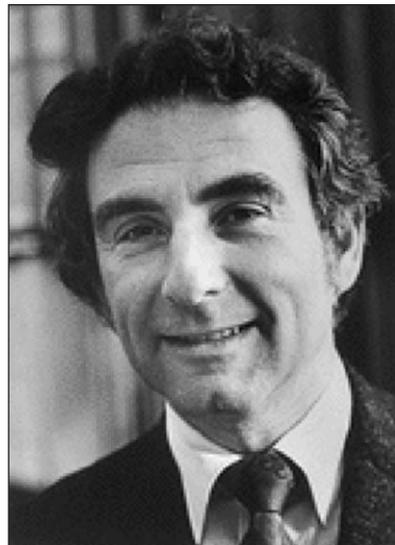
Заданность этого дуплетного выдвижения очевидна. Притом без каких-либо надежд на конечный успех, поскольку в представлениях не упоминался ни один из американских первооткрывателей. Даже Леон Купер, чья гениальная догадка об элек-



Джон Бардин.



Джон Роберт Шриффер.



Леон Купер.

тронных парах послужила Боголюбову теоретическим фундаментом его собственных построений. Бросается в глаза и случайный подбор организаторами мероприятия кандидатур обоих номинаторов — ни один из них не был специалистом в вопросах квантовой электродинамики. Много лет спустя академик Амбарцумян в своих воспоминаниях признался, что чувствовал себя «малокомпетентным во многих областях науки, в которых блистал разносторонний талант Ник.Ник.Боголюбова (механика, квантовая теория поля и т.д.)» [7].

В 2011 г., после истечения 50-летнего срока хранения документации нобелевских комитетов за 1960 г., можно будет узнать, направил ли Амбарцумян свое представление в Стокгольм. Но что номинация Артоболевского не дошла до Нобелевского комитета, известно и сегодня. На его сопроводительном письме Топчиеву, ниже отметок о прохождении документа в пределах секретариата главного ученого секретаря, имеется итоговая запись начальника иностранного отдела В.А.Виноградова. Она датирована 23 февраля 1960 г. и констатирует, что «в связи с возраже-

ниями ОФМН вопрос временно снят» [6].

Была предпринята попытка обнаружить в протоколах заседаний Отделения физико-математических наук за первые два месяца 1960 г., включая протокол от 17 февраля, какие-то следы рассмотрения номинации Артоболевского. Однако успеха она не имела. Скорее всего свои возражения члены бюро изложили в устной форме и протоколировать не стали.

В данной ситуации трудно избежать закономерного вопроса. А вообще — были ли у советского академика шансы оказаться в призовой тройке*? Например, на месте Шриффера, поскольку Бардин и Купер тут занимали неприступные позиции? Ответ напрашивается более чем пессимистичный: едва ли... И многоумные члены бюро ОФМН, представляя себе сложившиеся обстоятельства, отлично это понимали.

Но даже если хоть один мизерный шанс все же существовал, он был бездарно упущен еще за два года до номинаций Амбарцумяна и Артоболевского. Причем не по вине Николая Ни-

* В соответствии с уставом Нобелевского фонда одна премия может быть присуждена не более чем трем лицам.

колаевича, а по всем хорошо известной банальной причине. Начавшаяся после 1953 г. либерализация режима еще долго не могла справиться с препонами, перекрывавшими пути международных контактов советских ученых с их зарубежными коллегами. Особенно если первые оказывались как-то задействованными в системе атомного проекта, даже на короткий срок.

Опубликованные Боголюбовым оригинальные представления о микроскопической теории сверхпроводимости, как и следовало ожидать, на Западе не остались незамеченными. Из разных научных центров Европы и Соединенных Штатов ученому посыпались приглашения на конференции, в летние школы, университеты и пр. Ему предлагали отдельные выступления, циклы лекций. Слушателями его оказались бы виднейшие физики-теоретики мира, в личном общении с которыми он смог бы развить собственные взгляды и способствовать модернизации некоторых неточных положений Бардина и его группы, т.е. принять участие в традиционных для научного процесса поисках путей к истине. И здесь самое время перейти к анализу документальных сви-

детельств обратной реакции властей предрержащих.

В конце 1957 г. Боголюбов передает руководителю ОФМН академику Л.А.Арцимовичу записку. Она написана от руки, видимо, сразу после состоявшегося между ними разговора. В записке он лапидарно перечислил полученные приглашения, упоминая при этом себя в третьем лице:

«Приглашение Н.Н.Боголюбова в Брюссельский университет (письмо от проф.Пригожина), в университет Утрехта (Голландия, письмо от проф.Ван Го-ва). Чтение лекций и докладов по теории сверхпроводимости в центрах изучения низких температур и статистической физики. Время не фиксировано. Желательно как можно скорее — не позже января—февраля. Срок 2 недели» [8; Л.121].

Арцимович, не откладывая дела в долгий ящик, направляет 13 декабря ходатайство на имя Топчиева. Просит командировать «академика Н.Н.Боголюбова за границу в Бельгию и Голландию для прочтения докладов о разработанной им теории сверхпроводимости». Упомянув о достижении американцев, он далее подчеркивает, что их модель, «как это признают и ее авторы, методически непоследовательна и основана на ряде произвольных допущений». Потому возникает «необходимость ознакомления зарубежных физиков с идеями и результатами теории Н.Н.Боголюбова. Так как здесь дело идет о приоритете советской науки в одном из важнейших вопросов современной физики, желательны его личные доклады, чтобы он мог сам отвечать на могущие возникнуть дискуссионные вопросы» [8; Л.119].

В записке Боголюбова — еще два сообщения о полученных приглашениях, теперь уже из Франции и Соединенных Штатов: «...приглашение прочесть лекции по моей теории сверхтекучести (мало известной за рубежом) в летней теоретической школе в «Les Nonches», июль—август 1958 года. Пребывание

там оплачивается. Будут в это время читать лекции крупнейшие специалисты, главным образом американские (в том числе Джон Роберт Шриффер. — А.Б.), по статистической физике. Приглашение от проф.Оппенгеймера в Принстон (США) на время от сентября 1958 по апрель 1959. Согласны на любое количество времени в этом промежутке. Все оплачивается. Читать доклады по темам моих исследований» [8; Л.121—122].

Но все это — пустые хлопоты. Ни президиум Академии, ни курировавшая его Лубянка не собираются выпускать на Запад ученого, который с 1950 по 1953 г. был задействован на расчетах, связанных с созданием первой водородной бомбы.

Правда, в сентябре 1956 г. он все-таки побывал в американском Сиэтле на Международном съезде физиков-теоретиков. Даже в августе того же года, когда ему не позволили принять приглашения из стран Бенилюкса, Франции и Соединенных Штатов, он съездил в составе советской делегации в Эдинбург на Международный математический конгресс. Но для этой, на первый взгляд, малопонятной непоследовательности несложно найти вполне рациональное объяснение.

В обоих случаях речь идет о коллективном выезде большого числа участников. Например, в Эдинбург только из Математического института АН СССР выезжало еще 13 ученых [9]. Контролировать ситуацию в таких компактных группах людей, связанных друг с другом, для негласных агентов труда не составляло.

Иное дело, когда речь заходит о самостоятельном выезде ученого в заграничное турне. А Боголюбов приглашался в упоминавшихся случаях, напомним, только индивидуально. И это не могло устраивать надзиравшие органы...

При рассмотрении приходивших на его имя приглашений прямых отказов не бывало.



Лев Андреевич Арцимович.

Все они должным образом регистрировались в иностранном отделе АН СССР, и приглашенный получал уведомление, что документу дан законный ход. Когда же наступали последние сроки, устно сообщалось, что поездка признана «нецелесообразной».

А теперь пофантазируем и представим себе, что поездки состоялись. Допустим, что в январе—феврале 1958 г. Боголюбов прочитывает курс лекций в среде бельгийских и нидерландских коллег. Через полгода — он во Франции, где вступает в диалог с Шриффером, и в аудитории, заполненной физиками-теоретиками со всего мира, убедительно доказывает, что его подход к построению модели формирования сверхпроводимости в ряде деталей точнее предлагаемого группой Бардина. А затем — Соединенные Штаты и ожидающий гостя легендарный руководитель американского атомного проекта Роберт Оппенгеймер. Разве итоги этих дискуссий и последовавших за ними публикаций могли бы пройти мимо внимания Нобелевского комитета и Королевской Академии наук, когда в 1972 г. там обсуждались кандидатуры физи-

ков, достойных награды за создание теории сверхпроводимости?..*

* * *

В серии очерков, опубликованных «Природой», были проанализированы обстоятельства, помешавшие стать лауреатами Нобелевской премии восьмерым блестящим представителям российской науки. Обстоятельства эти не всегда походили одно на другое. Несостоявшиеся нобелианы троих из восьми — Менделеева, Лебедева, Ипатье-

* Практика запретов на индивидуальный выезд за рубеж ученых, так или иначе привлекавшихся к участию в атомном проекте, продолжалась в Советском Союзе до 70-х годов. Столкнулся с такими ограничениями также выдающийся математик академик И.М.Гельфанд, который, как и Боголюбов, был задействован в расчетах, связанных с созданием ядерного оружия. Как вспоминает внук А.Н.Косыгина, АД.Гвишиани, заместитель директора Института физики Земли РАН, в домашней обстановке он рассказал деду, что по причине засекреченности Гельфанда не выпускают в Великобританию на церемонию вручения ему мантии и берета почетного доктора Оксфордского университета. Дед, отмечает далее Гвишиани, «задумался и сказал: это неправильно. Поставил этот вопрос на Политбюро — и Гельфанд получил паспорт и поехал в Англию» [11]. Так своевременное вмешательство Косыгина обеспечило в 1973 г. создание юридического прецедента при решении вопросов об индивидуальных выездах советских ученых по приглашению зарубежных научных учреждений.

ва — пришлось на дореволюционный период, четверых — Ландсберга, Мандельштама, Векслера и Завойского — на сталинские времена и последнего — Николая Николаевича Боголюбова — на годы хрущевской оттепели. Но судьбы всех восьмерых неизменно объединяла одна и та же доминанта — подспудная связь несостоявшихся присуждений со специфическими чертами того общества, к которому они принадлежали. Будь то (в случаях с Менделеевым, Лебедевым и Ипатьевым) корпоративное небрежение к лучшим из своих представителей или (в остальных случаях) создание искусственных препятствий на государственном уровне в условиях тоталитарного режима.

Главное, что следует из пересказанных историй, так это некорректность бытующих подозрений в предвзятости нобелевских учреждений к представителям российской науки. В подтверждение сказанному процитирую два замечания весьма уважаемых членов нашего научного сообщества.

В 1975 г. на встрече в ЦК КПСС с советскими нобелевскими лауреатами, побывавшими в Стокгольме на празднествах,

посвященных 75-летию учреждения Нобелевского фонда, президент АН СССР А.П.Александров отметил в реплике по ходу беседы: «После тех разговоров, которые были у нас, я посмотрел списки нобелевских лауреатов: может, нашим ученым меньше присуждают, чем американцам. Но главным образом все-таки присуждают правильно» [5; Оп.68. Ед.хр.492. Л.8].

Четверть века спустя лауреат Нобелевской премии по физике Ж.И.Алфёров в свойственной ему эмоциональной манере почти продублировал высказывание Александрова: «...даже поднапрячься, едва ли можно отыскать в «нобелевском списке» за минувшие сто лет больше двух-трех работ по физике, которые не соответствовали бы уровню премии. Эти редчайшие исключения лишь подтверждают правило: номинация и *экспертиза работ* (курсив мой. — А.Б.) организована Нобелевским фондом блестяще. Это один из факторов, обеспечивающих высокую престижность премии» [10].

Надо думать, столь авторитетные свидетельства знаковых личностей российской науки дополнительных комментариев не требуют... ■

Литература

1. Блох А.М. Советский Союз в интерьере нобелевских премий. СПб., 2001.
2. Блох А.М. «Нобелиана» В.И.Векслера и Е.К.Завойского // Природа. 2002. №8. С.74—79.
3. Cooper L. // Phys. Rev. 1957. V.104. №6. P.1189.
4. Абрикосов А.А., Халатников И.М. // Успехи физ. наук. 1958. Т.25. Вып.4. С.552.
5. Российский государственный архив новейшей истории (РГАНИ). Ф.5.
6. Архив РАН (АРАН). Ф.579. Оп.1. Ед.хр.639. Л.134—137.
7. Амбарцумян В.А. Николай Николаевич Боголюбов. Математик, механик. Физик. Дубна, 1994. С.37.
8. АРАН. Ф.471. Оп.1. Ед.хр.307.
9. Центральный архив общественных движений Москвы (ЦАОДМ). Ф.7334. Оп.1. Ед.хр.9. Л.181.
10. Поиск. 2002. №3. С.4.
11. Известия. 8 июля 2002. С.4.

Новости науки

Астрофизика

Мы живем в гигантском раскаленном облаке

Еще в 1956 г. Л.Спитцер (L.Spitzer; Принстонский университет, штат Нью-Джерси, США) пришел к заключению, что взрывы сверхновых звезд в диске Млечного Пути должны питать энергией межзвездное пространство, образуя при этом гало, похожее на то, что возникает над атмосферой Земли под воздействием вспышек на Солнце. Прошло 43 года, и американский спутник «FUSE» («Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer») действительно обнаружил существование подобного гало. Однако и размеры его, и механизм образования до сих пор оставались неясными.

Важный шаг в решении этой проблемы сделан под руководством К.Сембаха (K.Sembach; Институт космического телескопа, Балтимор, штат Мэриленд) астрофизиками из Университета штата Висконсин в Мадисоне. На 199-й конференции Американского астрономического общества (Вашингтон, январь 2002 г.) они показали, что наша Галактика погружена в гигантское облако раскаленных газов, температура которых достигает 1 млн градусов, а плотность невероятно мала — в среднем менее 10^{-18} плотности земной атмосферы. Не исключено, что вся эта «рыхлая корона» простирается вплоть до Магеллановых Облаков — соседних с нами галактик.

Участники исследований составили карту околосгалактического пространства, на которой различимы отдельные газовые облака, падающие на Млечный Путь. Подобно тому как раскаляются мете-

оры, влетающие в атмосферу Земли, нагреваются и газовые облака из-за трения в «короне» Галактики. Наблюдая за этим процессом, ученые смогли судить о физических свойствах «короны».

Облака космического газа, состоящие главным образом из нейтрального водорода, врываются в Млечный Путь со скоростями в несколько сотен километров в секунду. Атомы кислорода на поверхности этих облаков разогреваются до такой степени, что теряют пять из восьми своих электронов. В результате ионизованный кислород начинает активно поглощать излучение, идущее от более удаленных объектов Вселенной. Когда Сембах с коллегами проанализировали УФ-излучение, принадлежащее десяткам удаленных от нас квазаров, удалось подтвердить существование такого поглощения на скоростях, присущих межгалактическим газовым облакам. Как считает нидерландский астрофизик Х.ван Вёрден (H.van Woerden; Гронингенский университет), некоторые из высокоскоростных облаков могут содержать газ, первоначально выброшенный «фонтаном» из плоскости Млечного Пути, а теперь падающий назад. Другая часть этой материи может представлять собой «дождь» из межгалактического пространства, свидетельствующий о том, что Млечный Путь продолжает увеличивать массу, привлекая все новое вещество извне.

Известное ранее, меньшее по размерам, гало и новооткрытая огромная «корона», — вероятно, различные объекты. По всей видимости, столь обширная «корона» не создается и не поддерживается процессами, происходящими в пределах галактического диска.

Как указывает Вёрден, она не может быть порождена самими сверхновыми, скорее это «перелиток» этапа рождения Млечного Пути и его ранней эволюции. Science. 2002. V.295. №5555. P.617 (США).

Астрономия

Солнечная система «пылит»

Еще в 70-годах прошлого века приборы американских межпланетных станций «Pioneer-10 и -11» обнаружили, что за орбитой Сатурна расположено кольцо из космической пыли. Остался открытым вопрос: образуется она из вещества, поступающего из внешней или внутренней области Солнечной системы? Единственное, что было ясно: кольцо должно постоянно пополняться новым материалом, поскольку часть входящих в его состав частиц притяжением планет-гигантов выбрасывается за пределы нашей системы.

Кажется, теперь эту проблему можно считать решенной благодаря работам группы европейских астрофизиков во главе с М.Ландграфом (M.Landgraf; Европейское космическое агентство).

По их мнению, трансатурное кольцо питается пылью, образующейся при столкновениях тел внутри пояса Койпера, который находится на внешней границе Солнечной системы. Установить этот факт исследователям позволил анализ данных, полученных от американско-европейского аппарата «Ulysses». Оказалось, что частицы пыли, сквозь которую пролетали в свое время «Pioneer-10 и -11», отличаются слишком грубой поверхностью, не свойственной межзвездному веществу. Выполненное Ландграфом математи-

ческое моделирование показывает, что наиболее вероятным источником этих пылинок служит пояс Койпера. Подсчитано, что за каждую секунду внутри пояса при столкновении образуется около 50 т пыли, летящей по новым орбитам. Этого как раз достаточно, чтобы поддерживать существование кольца со значительным инфракрасным излучением, различимым с больших расстояний.

Участники исследования высказали интересную мысль: если наличие пылевого кольца тесно связано с наличием планет, то любая цивилизация, существующая около далекой от нас звезды, способна установить, что и около нашего Солнца есть своя планетная система, и направить свой взор в нашу сторону. И наоборот: земным астрономам следует учитывать, что существование планет наиболее вероятно при тех звездах, у которых есть аналогичные кольца, ярко излучающие в инфракрасном свете. Этим уже занялась группа американских ученых во главе с Д.Триллингом (D.Trilling; Университет штата Пенсильвания в Филадельфии), взявшая под наблюдение более 40 звезд.

Science. 2002. V.295. №5560. P.1621 (США).

Астрономия

Астрономам подарок — искусственная звезда

Крупнейший в мире Оптический телескоп Кека на горе Мауна-Кеа (Гавайские о-ва) получил в свое распоряжение лазер, с помощью которого на высоте около 100 км над земной поверхностью создается искусственная звезда — светящееся облако паров натрия. Непрерывное наблюдение за искусственной звездой позволяет отслеживать искажения, вносимые в форму волнового фронта атмосферной турбулентностью, и своевременно корректировать их. Эта методика, называемая адаптивной оптикой, дает возможность кардинально улучшить четкость изображений, получаемых на наземных телескопах.

Лазер мощностью 18 Вт порождает на небе пятно достаточно яркое, чтобы его можно было наблюдать с Земли невооруженным глазом. Но учитывать эффект атмосферного мерцания астрономических объектов оно вполне позволяет. Искусственная звезда имеет диаметр около 1 м и в телескоп выглядит немного более крупной, чем настоящая. Когда телескоп фокусирует свой «взор» на этом виртуальном небесном объекте, компьютеры обсерватории автоматически деформируют вспомогательное зеркало телескопа так, чтобы эффекты атмосферной турбулентности были компенсированы и не искажали изображение.

В создании лазера принимали участие сотрудники Национальной лаборатории Лоуренса в Ливерморе (штат Калифорния) во главе с физиком К.Макс (С.Мах).

Science. 2002. V.295. №5554. P.437 (США).

Космические исследования

Меркурий: планы американских ученых

В 2001 г. руководство НАСА США утвердило общий план запуска к Меркурию аппарата «MESSENGER», что в переводе означает «Гонец», но в то же время является аббревиатурой слов «Mercury Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging» («Поверхность, космическая среда, геохимия и съемка Меркурия»). Эта ближайшая к Солнцу планета всего лишь один раз, в 1974 г., посещалась (без посадки) аппаратом «Mariner-10».

«MESSENGER» должен быть запущен в 2004 г., а прибыть к цели — в апреле 2009 г., т.е. несколько ранее, чем европейский аппарат «Veni-Colombo», выполняющий сходные задачи. Прежде чем сблизиться с Меркурием, «MESSENGER» дважды пройдет около Венеры, чтобы получить дополнительное ускорение за счет использования ее тяготения. Затем на протяжении одного земного года ему предстоит обращаться по орбите вокруг Меркурия.

На борту американского аппарата будут установлены семь различных приборов, в том числе фотокамера, лазерный высотомер, магнитометр и несколько спектрометров. Предстоит получить изображения всей планеты, а также данные о составе и строении ее коры, ядра, геологической истории, природе весьма разреженной атмосферы.

Ученые хотели бы получить ответы на следующие вопросы: почему Меркурий обладает наибольшей плотностью среди планет Солнечной системы и сложен в основном из железа; почему это небесное тело — единственное (если не считать Землю) во внутренней части Солнечной системы, у которого есть глобальное магнитное поле; каким образом эта планета, температуры на экваторе которой в дневное время достигают 430°C, сохраняет лед в кратерах, находящихся в полярных регионах?

Общее руководство программой возложено на Дж.Бергштраля (J.Bergstralh; НАСА), который подчеркивает, что изучение Меркурия важно не только само по себе: возможно, оно приведет к пониманию сил, породивших Землю и планеты земного типа в их нынешнем состоянии.

Spaceflight. 2001. V.43. №12. P.499, 501 (Великобритания).

Планетология

На Ио идет снег... очень странный

Ио — один из крупнейших естественных спутников Юпитера (диаметр 3700 км, расстояние от планеты 421 тыс. км) — не перестает удивлять землян. Там, впервые вне Земли, открыт вулканизм, причем невероятно активный; некоторые огнедышащие горы Ио «переезжают» с места на место на десятки километров. Недавно космический аппарат «Galileo» прислал более подробные изображения поверхности спутника, на которых при лабораторной обработке удалось заметить процессы появления и исчезновения яркого снега или льда!

О каком снеге и льде может идти речь на этом небесном теле? Астрофизик А.Мак-Юэн (А. McEwen; Университет штата Аризона в Тусоне) полагает, что это вовсе не замерзшая вода, подобная земной, а насыщенное серой вещество, которое просто похоже на снег. Дело в том, что при извержении некоторых вулканов Ио выделяется SO_2 , а возможно, и другие богатые серой соединения. Но на Земле SO_2 — газ, а на поверхности вулканического спутника Юпитера это вещество может переходить в твердую фазу, и даже в жидкость — под нею.

Куда бы приборы ни заглядывали на Ио, везде видны следы этого летучего вещества. На сильно пересеченной местности светлые сернистые пятна чередуются с темными, как у нас весной, когда часть снега уже стаяла и стали проглядывать черные камни.

Структура покрова Ио показывает, что часть сернистой «тверди» временами рассеивается и сублимирует, превращаясь непосредственно из твердой фазы в газ. Впрочем, не вся сера вдруг улетучивается. Что к этому приводит — пока неясно.

Изучение новых изображений доказало верность гипотез, согласно которым чашеобразные углубления в вулканических районах Ио скорее всего связаны с появлением трещин на поверхности и перемещениями участков коры, а не просто с обрушением крыши подземных магматических камер, как это происходит на Земле при возникновении крупных плоскодонных кратеров (кальдер).

Spaceflight. 2001. V.43. №1. P.9 (Великобритания).

Химия атмосферы. Экология

Пылевые бури

Каждую весну с Сибирского плато срываются усиливающиеся в этот сезон ветры; они вздымают песок в пустынях Монголии и Китая и выносят его на просторы Тихого океана. Наиболее мощная за

последние два десятилетия пылевая буря произошла в апреле 2001 г. Она началась в пустыне Гоби, быстро достигла центральных областей Китая, Кореи и Японии, а остатки несомых ею частиц обрушились на западное побережье США всего через неделю после начала шторма.

Это событие стало объектом изучения в рамках международного проекта «ACE-Asia» («Aerosol Characterization Experiment-Asia»), цель которого — исследовать мелкие атмосферные частицы, приходящие главным образом из Монголии и КНР. Используемые в эксперименте наземные, воздушные и космические приборы позволили собрать полноценный комплект данных, описывающих пылевую бурю.

Согласно предварительным итогам их анализа, доложенным на конференции Американского геофизического союза (Сан-Франциско, декабрь 2000 г.), в составе переносимых ветром частиц оказалось неожиданно большое содержание сажи азиатского происхождения. Тяжелые частицы выпадают из облаков прежде, чем пересечь Тихий океан, но мелкая аэрозольная пыль (ртуть из отопительных установок, мышьяк из плавильных печей, частицы, покрытые пленкой серной кислоты) надолго сохраняются в атмосфере и в состоянии преодолевать большие пространства. Дополняют загрязнение атмосферы и частицы осадочных пород, поднимаемые ветром со дна давно пересохшего озера вблизи Пекина.

Проходящие над Маньчурией воздушные массы вызвали в 2001 г. самое сильное за все время наблюдений загрязнение атмосферы мышьяком в штате Невада (Северо-Запад США).

Ведущие ученые в этой программе — химики — специалисты по химии атмосферы Дж.Просперо (J. Prospero; Университет Майами в штате Флорида) и физики атмосферы Т.Кахилл (T. Cahill; Университет штата Калифорния в Дейвисе).

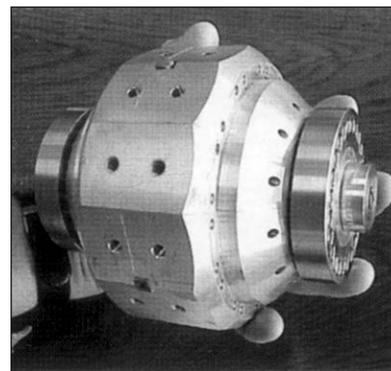
Science. 2001. V.294. №551. P.2469 (США).

Техника

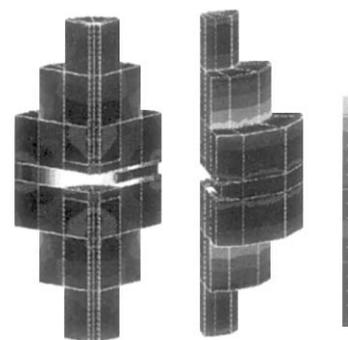
Рекордное значение постоянного магнитного поля

В Гренобле (Франция) усилиями нескольких лабораторий создан постоянный магнит, с помощью которого достигнуто значение магнитной индукции в 5 Тл при комнатной температуре. Это новый мировой рекорд. Магнит уже нашел применение в Европейском источнике синхротронного излучения (European Synchrotron Radiation Facility), расположенном там же, в Гренобле.

Этот магнит разработал аспирант Ф.Блох (F. Bloch) на основе пионерской идеи К.Халбаха (K. Halbach) из Беркли. В конце 1970-х годов Халбах предложил использовать постоянные магниты типа виглер и ондулятор для генерации синхротронного излучения от электронных пучков, а в 1985 г. изобрел особую конфи-



Магнит с полем величиной 5 Тл может разместиться на ладони.



Топография магнитного поля.

гурацию постоянных магнитов: магнитный поток концентрируется на одной стороне магнитных элементов, расположенных в определенном порядке, и исчезает на другой. Его идеи были приняты разработчиками как в случае проектирования магнитных систем левитации для транспорта, так и для прикладного использования в ускорителях заряженных частиц.

Устройство Блоха представляет собой сферу диаметром 120 мм, составленную из редкоземельных постоянных магнитов. Пространство с магнитным полем, пригодное для использования, имеет регулируемый зазор диаметром до 6 мм. Максимальное поле магнита величиной 5 Тл измерено в щели 0.15 мм.

CERN Courier. 2002. V.43. №3. P.7 (Швейцария).

Ботаника

Почему процветают виды-вселенцы?

Традиционно считается, что любые растения (как, впрочем, и животные) лучше всего чувствуют себя в исконных местах своего обитания. Между тем по всему миру в составе той или иной региональной флоры возрастает доля видов-вселенцев. Этому процессу резкого усиления в растительной среде адвентивных (от лат. *adventus* — пришествие) элементов, занесенных случайно или преднамеренно, Б.М.Миркин¹ (Башкирский государственный университет, Уфа) присвоил специальный термин — «адвентивизация».

При обсуждении причин успеха вселенцев всегда возникает вопрос: какие именно особенности делают их более конкурентоспособными по сравнению с местными видами. Ведь последние, по логике вещей, должны быть лучше приспособлены к условиям, в которых они давно существуют и в которых скорее всего и шла их эволюция. По-видимому, более содержательный ответ

можно получить, если в самом вопросе сдвинуть акценты и переформулировать его следующим образом: какие особенности взаимодействия чужеродных видов с новой средой обитания определяют их необычайный успех? На этот вопрос и пытался ответить канадский исследователь Дж.Клирономос² из Гуэлфского университета.

Для опытов он выбрал 10 видов травянистых растений с лугов провинции Онтарио; пять из них — это процветающие вселенцы, проникшие из Евразии за последнее столетие, а другие пять — представители местной флоры, причем скорее редкие, чем массовые. Все растения Клирономос выращивал из семян по отдельности в горшках с землей, взятой из мест, где эти виды не произрастают. Через 10 недель выросшие растения были изъяты из горшков, а в ту же почву засеяны те же самые виды. Спустя еще 10 недель растения опять были изъяты, отделены от почвы и взвешены, а земля из каждого горшка поделена на две равные части. В одной снова выращивали из семян те же самые виды растений, а в другой — иные виды. Все варианты опытов повторяли 10 раз. Оказалось, что на своей почве все вселенцы росли лучше, а все местные виды — хуже, чем на почве, взятой из-под других растений.

Результаты экспериментов кажутся неожиданными, но они соответствуют гипотезе Клирономоса: рост исконных обитателей в значительной мере сдерживается патогенными бактериями, которые становятся особенно многочисленными в почве при длительном выращивании в ней одного вида растений. Адвентивные же виды имеют, как предполагается, значительно меньше врагов среди местных патогенных бактерий.

Другие его опыты показали, что микоризообразующие грибы, способствующие росту растений, легко вступают в симбиоз как с местными, так и заносными ви-

дами. Подтверждение своей гипотезе Клирономос нашел и при сопоставлении роста на своей и чужой почве 61 вида растений, которые были взяты из травянистого сообщества на залежных землях и сильно различались своим относительным обилием, точнее, встречаемостью. Выяснилось, что рост всех более или менее редких видов уменьшался на своей почве, реакция видов со средней встречаемостью была нейтральной, а все массовые виды в этих условиях росли интенсивнее. Между количественно измеренной величиной реакции и встречаемостью существует четкая положительная корреляция.

Результаты экспериментов заставляют совершенно по-новому взглянуть на механизмы, обеспечивающие процветание видов-вселенцев; их успех определяется прежде всего отсутствием (или ослаблением) сдерживающих факторов (в частности, патогенных микроорганизмов), столь обычных для местных видов.

© А.М.Гиляров,

доктор биологических наук
Москва

Геофизика

Что происходит в магнитосфере?

Как известно, Землю от воздействия солнечного ветра (потока заряженных частиц) защищает ее магнитное поле. Однако нередко в околоземном пространстве происходит так называемое магнитное пересоединение; тот или иной участок «щита» ослабевает, и частицы энергично прорываются в земную атмосферу, вызывая сполохи полярных сияний и магнитные бури.

Скорость солнечного ветра отнюдь не равномерна. Вспышки и другие события на Солнце могут придавать потоку частиц значительное ускорение. Солнечный ветер несет с собой «обрывки» магнитного поля светила, которые, достигая магнитосферы Земли, начинают обтекать его подобно струям речной воды, огибающим

¹ Миркин Б.М. // Журн. общей биологии. 2002 (в печати).

² Klironomos J.N. // Nature. 2002. V.417. №6885. P.67—70.

опору моста. Однако временами магнитные поля Солнца и Земли объединяются, порождая в земной магнитосфере нечто вроде отверстия, в которое и устремляются потоки высокоэнергичных частиц. Чтобы прогнозировать подобные события, необходимо хорошо понимать механизм пересоединения, который изучен слабо и служит предметом дискуссии уже несколько десятилетий.

Специалисты разделились на два лагеря. Сторонники субсолнечной гипотезы считают, что магнитное пересоединение происходит лишь в той точке пространства, которая в данный момент находится ближе всего к светилу и в наибольшей степени подвергается воздействию солнечного ветра, т.е. в пределах выступа магнитосферы. Их оппоненты, сторонники антипараллельной гипотезы, утверждают, что местом события может быть любая точка, где магнитные поля Земли и Солнца противостоят друг другу, причем обычно это происходит вне пределов выступа магнитосферы.

Группа геофизиков из Британского управления антарктических исследований в Кембридже, возглавляемая Р.Хорном (R.Horne), разработала способ проверки этих гипотез.

При определенных сезонных условиях и характеристиках солнечного ветра, согласно антипараллельной модели, обязательно должны возникать две точки пересоединения, «субсолнечники» же видят возможность только одной. Но уловить событие, занимающее в околоземном пространстве лишь несколько тысяч километров в поперечнике и длящееся всего несколько минут, весьма сложно для тех немногих искусственных спутников Земли, которые ведут наблюдения по всей обширной магнитосфере. Поэтому британские исследователи проанализировали массив многолетних данных, которые собрали наземные радиолокационные устройства, следящие за ионосферой, — этот плазменный слой нарушается при каждом пересоединении.

Естественно, наиболее информативными оказались данные высокоширотных полярных станций — Гус-Бей (п-ов Лабрадор в провинции Ньюфаундленд, Канада) и Стокксейри (Исландия). Внимание ученых привлекла информация, относящаяся к одному из дней декабря 1997 г.: записи ионосферных возмущений в эти сутки отчетливо указывали на происходившие тогда два магнитных пересоединения, причем ни одно из них не случилось вблизи точек, отвечавших субсолнечной модели. Таким образом, было получено свидетельство в пользу антипараллельной гипотезы. Однако окончательным считать этот вывод, опирающийся всего лишь на один случай, нельзя.

Journal of Geophysical Research. 2001. V.106. P.28995 (США).

Геофизика

Земная кора в Цусимской котловине

К основным морфоструктурным элементам Японского моря относятся три глубоководные котловины (Японская, Цусимская и Ямато) и разделяющие их поднятия (возвышенности Ямато, Корейская и др.). Геофизики Б.Я.Карп, С.Н.Медведев и В.Г.Прокудин (Тихоокеанский океанологический институт им.В.И.Ильичева, Владивосток) начиная с 1985 г. проводили на этой акватории исследование методом преломленных волн с использованием донных сейсмических станций. Большой объем полученной информации позволил установить, что мощность земной коры в котловинах Ямато и Цусимской составляет примерно 14 км, а в восточной части Японской — около 8,5 км. Специалисты расходятся во мнениях о природе коры в этих районах морского дна: либо это утолщенная океаническая, либо растянутая континентальная.

Аналогичные сейсмические исследования были осуществлены в западной и юго-западной частях Цусимской котловины. Они выполнялись в рамках научной коо-

перации Тихоокеанского океанологического института, Университета г.Чиба (Япония) и Корейского института океанических исследований и развития. Выяснилось, что в глубоководном районе этой котловины мощность земной коры (включая четырехкилометровый осадочный слой) составляет 16,5 км и увеличивается под континентальным склоном в сторону суши до 21—23 км. Под осадками в верхней части коры определяются три слоя с сейсмическими скоростями 4,3—5,2, 5,8 и 6,2—6,3 км/с, а в нижней — два со скоростями 6,7 и 7,3 км/с, причем толщина нижнего высокоскоростного слоя достигает 4,2—4,8 км. Отношение мощностей верхней и нижней коры в глубоководной части равно 3/7 (что характерно для океанической коры), при движении в сторону суши оно существенно меняется.

Наличие высокоскоростного слоя в низах коры Цусимской котловины исследователи объясняют тем, что составляющие его породы внедрились сюда под воздействием периферии мантийного плюма, расположенного под Северо-Восточным Китаем.

Геология морей и океанов. Тезисы докладов XIV Международной школы морской геологии. М., 2001. Т.1. С.176—177.

География

В окрестностях Санкт-Петербурга теплеет

Всемирная метеорологическая организация рекомендовала изменить известные средние климатические показатели — нормы — во всех регионах планеты, используя измерения за последние 20—30 лет. С этой целью были исследованы, например, климатические изменения в Ленинградской, Псковской и Новгородской областях за период 1961—1993 гг. по данным 16 метеорологических станций¹. Интересно дополнить теперь эти наблюдения результатами обработки измерений атмосферных

¹ Померанец КС. Многолетние метеонаблюдения на северо-западе России // Природа. 2000. №7. С.84.

элементов на отдельных метеостанциях.

Рассмотрим ежемесячные данные по основным климатическим параметрам приземного режима атмосферы — температуре воздуха и осадкам — за 22-летний период (1980—2001) на метеостанции Лисий Нос, расположенной на северном берегу Невской губы, в 15 км западнее островов Невской дельты. Эта станция характеризует гидрометеорологический режим и климат ближних приморских окрестностей и частично курортного района Петербурга, свободных от влияния большого города. Для метеостанции Лисий Нос имеются многолетние годовые, сезонные и ежемесячные сведения по температуре воздуха и осадкам, правда, достоверно не известен период осреднения, по которому получены эти нормы: либо 1922—1960, либо 1946—1980 гг. Тем не менее сопоставим существующие показатели с новыми данными за последние 22 года для оценки происходящих климатических изменений в северных приморских районах Петербурга.

Средняя годовая многолетняя температура воздуха повысилась за этот период относительно известной нормы на 1.1 градуса: 4.9°C вместо 3.8. Только в трех случаях средние за год температуры оказались ниже прежней нормы: в 1980 г. — на 0.3°C, в 1985 г. — на 0.9 и в 1987 г. — на 1.6.

Все календарные сезоны в среднем были теплее: весна — на 1.9°C, лето — на 0.4, осень — на 0.7, зима — на 1.4. Таким образом, наибольшее потепление в северных приморских районах Петербурга относится к весеннему сезону, тогда как в упомянутых выше трех областях Северо-Запада особенно потеплела зима.

Сезоны отдельных лет оказались холоднее прежних: в двух случаях — для весны, в шести — для лета, в восьми — для осени, в пяти — для зимы. Температуры воздуха всех отдельных месяцев, осредненных за 22 года, были выше прежних значений, за исключением ноября, ставшего холоднее на 0.2°C.

Что касается осадков, то средняя многолетняя их годовая сумма увеличилась за 1980—2001 гг. относительно известной нормы на 106 мм: 666 мм вместо 560 мм. Средние за год суммы осадков отдельных лет только в трех случаях оказались меньше прежней нормы: в 1992 г. — на 56 мм, в 1995-м — на 18 мм и в 1999-м — на 36 мм.

Во все календарные сезоны сумма осадков увеличилась: для весны — на 7 мм, для лета — на 27 мм, для осени — на 27 мм, для зимы — на 45 мм. Однако в некоторые годы сезоны оказались суше: в 10 годах из 22 — для весны, в семи — для лета, в шести — для осени и в двух — для зимы. В остальные годы сезонные суммы осадков превысили нормы.

Из месячных сумм осадков, осредненных за 22-летний период, только сентябрьские оказались меньше прежней нормы (77 мм вместо 82 мм); в апреле и мае увлажнение не изменилось; в остальные месяцы количество осадков увеличилось.

Комплексный показатель климатического режима «температура воздуха — осадки» для метеостанции Лисий Нос указывает на потепление и увлажнение за рассматриваемый период как в среднем многолетнем годовом, так и в сезонных значениях. Таким образом, здесь не обнаруживается сочетания потепления с уменьшением количества осадков, о чем часто упоминается в климатических обзорах по обширным территориям.

© К.С.Померанец,

кандидат географических наук
Санкт-Петербург

Вулканология

Увидеть вулкан изнутри

Достаточно трудно прогнозировать, каким именно будет извержение вулкана — взрывным (эруптивным) или относительно спокойным (эффузивным). Вот примеры. В 1912 г. аляскинский вулкан Катмай внезапно взорвался и за двое суток выбросил более 30 км³ пемзы и пепла; с тех пор ничего более грандиозного не случалось,

но взрывы послабее постоянно происходят на его вершине и по сей день. Вечно же бурлящие вулканы Гавайских о-вов обычно ведут себя спокойнее: из их кратеров и расщелин лава изливается медленно, но ее потоки могут поджечь леса и строения или вызвать каменную лавину.

Научиться заранее предсказывать, чем именно грозит активность той или иной огнедышащей горы, — такую задачу поставили японско-американские исследователи во главе с Дж.Эйхельбергером (J.Eichelberger; Геофизический институт при Университете штата Аляска в Фэрбенксе, США), приступив к изучению вулкана Ундзен на юго-западе Японии. С 1991 по 1995 г. он находился в стадии непрерывного эффузивного извержения, ежесекундно поставляя на поверхность около 2 м³ раскаленной породы, скопления которой постепенно образовали гору, а лавины, сходявшие по склону, похоронили 10 км² территории и уничтожили г.Симабара у ее подножия.

Согласно проекту исследований, в 2002 г. было намечено приступить к глубинному бурению и достичь магматического канала. Наклонное бурение на одном из высоких склонов горы пересечет природный канал в 1—1.5 тыс. м под поверхность. Буровое оборудование должно выдерживать температуры до 600°C.

Организаторы и спонсоры исследований — Научно-техническая ассоциация Японии, Международная программа континентального бурения и Национальный научный фонд США.

Geophysical Institute Quarterly. 2001. V.17. №2. P.1 (США).

Климатология

Потепление продолжается

Вторым по максимуму температур на поверхности Земли более чем за столетие инструментальных наблюдений оказался 2001-й метеорологический год (декабрь 2000 — ноябрь 2001). Статистиче-

ский анализ глобальных данных выполнили научные сотрудники Института космических исследований им. Годдарда НАСА под руководством Дж. Хансена и др.¹

Потепление 2001 г. особенно многозначительно, так как происходило во время той фазы явлений Эль-Ниньо — Южная осцилляция, когда тропическая акватория Тихого океана оставалась «холодной». А рекордно высокие температуры 1998 г. подкреплялись интенсивным в тот период Эль-Ниньо, благодаря чему глобальный разогрев планеты превысил статистическую тенденцию на 0,2°.

За последнюю четверть века температура приповерхностного слоя воздуха повысилась примерно на 0,5°, а за столетие — на 0,75°.

Все это контрастирует с тем, что, по данным Дж. Р. Кристи и др.², тропосфера за последние 22 года потеплела лишь примерно на 0,1°.

Аномально теплыми были в 2001 г. условия в Канадско-Аляскинском регионе, а также на Антарктическом п-ове. В Индийском океане и западной части Тихого тоже сохранялась общая тенденция последних десятилетий.

Заметно теплее, чем в период 1951—1980 гг., было в Северной Атлантике. Необычно холодная погода недавних десятилетий в районе Баффинова залива, отмечавшаяся также к югу и юго-востоку от Гренландии, уступила в последние пять лет аномальному повышению температуры.

В целом можно сказать, что новый век продолжает глобальное потепление последних десятилетий. Большинство специалистов связывает это с антропогенными факторами — главным образом с выбросом в атмосферу парниковых газов. Человечество стоит перед необходимостью принимать решения, способные хотя бы замедлить интенсивный процесс общего потепления.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001. N.Y., 2001; Science. 2002. V.295. №5553. P.275 (США).

¹ Hansen J. et al. // J. Geophys. Res. 2001. V.106. P.23947.

² Christy J.R. et al. // J. Atmos. and Oceanic Technology. 2000. V.17. P.1153.

Гляциология

Свидетельствует ледник Принс-Густав

Антарктический п-ов окружен пятью сравнительно мелкими ледниковыми шельфами. Начавшееся еще по крайней мере в середине XIX в. и усилившееся в конце XX в. отступление ледников в результате потепления климата — факт общепризнанный. А происходили аналогичные события когда-либо еще за последние 10 тыс. лет, т.е. до начала антропогенного воздействия на климат? Попытку ответить на этот вопрос предприняли гляциологи К.Падси и Дж.Эванс (С.Pudsey, J.Evans; Британская служба антарктической съемки в Кембридже). Они изучали эволюцию ледяного шельфа в проливе Принс-Густав (восточное, омываемое морем Уэдделла, побережье Антарктического п-ова), прибыв в этот район на судне «Джеймс Кларк Росс»; оно первым посетило недавно эти воды с научными целями.

В те отрезки времени, когда шельф, подтаивая, отступал и воды пролива становились открытыми хотя бы часть года, льдины и айсберги, уходя в свободное плавание, несли на себе обломки континентальных горных пород. При таянии этих «плотов» обломочный материал оказывался на дне пролива. Пробував с борта судна дно в проливе, ученые обнаружили в колонках осадочных пород каменные обломки, возраст которых от 5 до 2 тыс. лет. До и после этого периода пролив, видимо, оставался закрытым для айсбергов и льдин. Анализ показал, что время, когда пролив был свободен от ледового покрова, совпадает с периодом регионального потепления. Когда же к началу нашей эры (около 1900 лет назад) вновь похолодало, ледяной шельф по берегам пролива Принс-Густав стал восстанавливаться, что продолжалось до нынешнего весьма интенсивного его отступления. Таким образом, ледяной шельф справедливо считается чутким показателем местной климатической динамики.

Geology. 2001. V.29. №10. P.787 (США).

Палеоокеанология

Эоловые отложения на островах Северо-Западной Пацифики

Широко распространенные на островах северо-западной части Тихого океана эоловые отложения показывают динамику выноса песка в прилегающую акваторию и направленность поступления осадочного материала при климатических изменениях, происходивших на протяжении плейстоцена.

Н.Г.Разжигаева (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН), используя радиоуглеродное датирование, а также биостратиграфию и данные по стратиграфии тефры (пепла), исследовала разрезы на о.Беринга и южных Курильских о-вах. Ею выделено несколько возрастных эоловых генераций в позднем плейстоцене и голоцене. Эти отложения возникали как за счет дальнего переноса пыли (они перекрывают доголоценовые формы рельефа), так и за счет близких источников (песков береговых дюн).

Покров, сложенный пористыми неслоистыми супесями и легкими суглинками, скорее всего образовался при нарастающем потеплении в конце плейстоцена — начале голоцена. Пепел, который был обнаружен в погребенной почве, идентичен выброшенному вулканом Энива (о.Хоккайдо) 17—15 тыс. лет назад.

В отложениях береговых дюн исследователи выделяют три генерации, соответствующие похолоданиям климата и малоамплитудным регрессиям. Самые древние образовались во время наиболее низкого стояния уровня моря в среднем—позднем голоцене; затем дюны формировались в наиболее длительный за последние 6000 лет холодный период (1700—1300 лет назад) и наконец — в малый ледниковый период.

Геология морей и океанов. Тезисы докладов XIV Международной школы морской геологии. М., 2001. Т.1. С.72—73.

Рецензии ИССЛЕДОВАТЕЛИ АРКТИКИ: А.В.КОЛЧАК И М.М.ЕРМОЛАЕВ

В.С.Корякин,
доктор географических наук
Москва

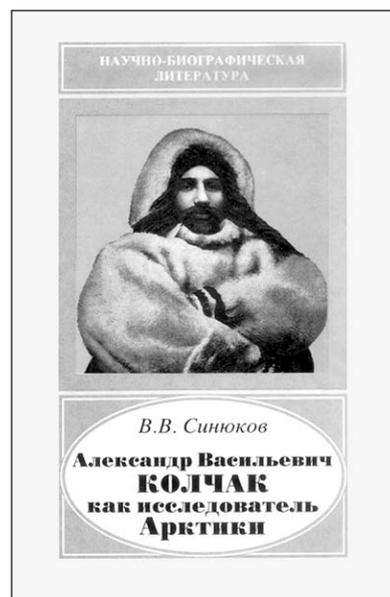
Эти очень разные книги — одна, историческая, возвращает науке гидрографа А.В.Колчака, того самого знаменитого адмирала, другая собственно мемуары полярного геолога М.М.Ермолаева, — имеют общее поле событий. Оба исследователя работали в Арктике и немало сделали для ее освоения.

«Любимец» советской цензуры

В этой рецензии речь пойдет о событии, которое рано или поздно должно было состояться, — о возвращении в историю русской науки выдающегося полярного исследователя Александра Васильевича Колчака (1874—1920), известного по событиям гражданской войны 1918—1920 гг. Предмет исследования В.В.Синюкова, сотрудника Института истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН, определяется самим заголовком книги.

Научная деятельность Колчака всегда высоко оценивалась специалистами в нашей стране и за рубежом, даже несмотря на все усилия советской цензуры, которая так и не смогла вытравить память о выдающемся русском полярнике, что легко проследить по целому ряду изданий. В 1926 г., когда память о его деятельности в Арктике была еще достаточно свежа, в работе М.С.Боднарского «Великий Северный морской путь» Колчак упоминается шесть раз. Это обстоятельство настолько при-

влекло внимание цензоров, что спустя два года они выбросили какие-либо упоминания о нем из книги Э.Г.Арнольда «По заветному пути». Это определенно бросается в глаза, поскольку автор был судовым врачом на «Вайгаче» в экспедиции по Северному Ледовитому океану, в которой участвовал Колчак. Цензурный пресс продолжался и далее: во всех трех изданиях (1936, 1939 и 1948) знаменитой «полярной Библии», как называли старые полярники «Моря Советской Арктики» В.Ю.Визе, Колчак фигурирует только однажды. Но вскоре после завершения Великой Отечественной войны, когда партийные претензии к бывшему российскому офицеру несколько утихли, его имя, неожиданно для читающей публики, всплыло в мемуарах другого судового врача экспедиции — Л.М.Старокадомского (1946). Роль Колчака, одного из инициаторов и первого руководителя выдающейся полярной экспедиции XX в., была намечена хоть и отрывочно, но вполне объективно. Однако цензура не дремала — в изданиях 1953 и 1959 гг.



В.В.Синюков. АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ КОЛЧАК КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬ АРКТИКИ. Отв. ред. А.Н.Чилингаров.

М.: Наука, 2000. 325 с. (Из серии «Научно-биографическая литература»).

имя Александра Васильевича было вымарано начисто, чему объективно, видимо, способствовала и одновременная публикация дневника Э.В.Толля под названием «Плавание на яхте «Заря»». В экспедиции Колчак принимал самое активное участие в качестве гидрографа и гидролога. Позднее он опубликовал свой труд «Лед Карского и Сибирского морей», по ряду разработок значительно опередивший свое время. Несомненно, цензура активно препятствовала использованию научного наследия одного из наших виднейших полярных исследователей, хотя и не смогла полностью запретить. Один пример: гипотеза о существовании антициклональной системы дрейфа у берегов Канадского Арктического архипелага (ее автор — Колчак), блестяще подтвердившаяся спустя полвека дрейфом станции «Северный полюс-2», руководимой М.М.Сомовым в 1950—1951 гг., для советского читателя впервые была пересказана другим видным полярным специалистом Н.Н.Зубовым только в 1941 г. опять-таки по цензурным соображениям со ссылкой не на самого Колчака, а на работы Русской полярной экспедиции 1900—1903 гг. Правда, главный труд Колчака «Лед Карского и Сибирского морей» как раритет нет-нет да появлялся на витринах у букинистов. С учетом войн, революций и описанных выше цензурных запретов научное наследие Колчака для большинства наших современников осталось практически неизвестным, как и его роль в изучении Российской Арктики, что необходимо учитывать, оценивая книгу Синюкова и те трудности, которые ему пришлось преодолеть при работе над ней.

Читателю теперь понятна необходимость столь обширного вступления. Особо отметим, что автор книги, сам неоднократно участвовавший в морских экспедициях, успешно справился с нелегкой задачей, хотя и допустил некоторые досадные огрехи, в общем не снижающие общей

ценности издания, но... Наиболее яркий тому пример: Якутск несколько раз перепутан с Иркутском! Очевидно, больше можно было бы уделить места описанию дрейфа льдов в акватории Северного Ледовитого океана, примыкающей к Канадскому Арктическому архипелагу, и т.д. Но все это мелочи, если учесть, что в оценке научных заслуг Колчака у Синюкова практически нет предшественников — несколько популярных очерков в период перестройки не в счет. В значительной мере успех автора определяется массой использованного материала, особенно неопубликованного, или опубликованного, но основательно забытого за давностью лет. Автор поступил абсолютно правильно, оставшись в рамках поставленной задачи и приложив множество (и, добавим, успешных) усилий по раскрытию тех черт характера своего героя, которые сформировали его как ученого — без этого образ полярного исследователя получился бы однобоким. Что касается политических оценок участия Колчака в гражданской войне, то Синюков (не избегая их в случае необходимости) и не стремился к их глубокому освещению, поскольку это задача других специалистов. Гораздо важнее для историка науки то, что Александр Васильевич создал предшественника советского Главсевморпути — Комитет Северного морского пути, в течение 10 лет остававшегося без изменений. Даже в разгар братоубийственной бойни Колчак активно изучал Сибирь, организовал научно-исследовательские экспедиции В.В.Сапожникова и Н.Н.Урванцева. И все это одновременно с карательными экспедициями, сопровождавшимися массовыми экзекуциями и прочими ужасами. Да, одним из участников этой войны был Колчак, имя которого, несомненно, останется на страницах истории, с чем нельзя не считаться, независимо от читательских симпатий и пристрастий.

К достоинствам книги следует отнести и то, что автор убедительно показал, как исследовательское направление в очень разносторонней личности начало формироваться еще в ранней молодости, в чем немалая роль принадлежит кузнице флотских кадров — Морскому корпусу в Петербурге, дававшему своим питомцам блестящее образование. Александр Васильевич неслучайно заслужил хвалебный отзыв своего первого командира: «Необычайно способный, знающий и талантливый офицер, он обладал редкой памятью, владел прекрасно тремя европейскими языками, знал историю почти всех европейских флотов и морских сражений». Раскопать подобный документ — уже несомненная авторская удача. Вместе с тем Синюков показал, что увлечение Колчака полярными морями было неслучайным. Характерно, по Синюкову, стремление его героя к знакомству именно с полярными исследователями (Ф.Нансеном, С.Макаровым и др.), что в конечном итоге и привело его в ряды академической Русской полярной экспедиции 1900—1903 гг. во главе с известным геологом Э.В.Толлем, а также с другими выдающимися русскими моряками, оставившими свой след в истории отечественной науки и флота (Н.Н.Коломейцевым, Ф.А.Матисеном, Н.А.Бегичевым). Автор удачно показал слияние научных и служебных интересов своего героя, что проявилось в плавании на крейсере «Рюрик», после которого были изданы его первые научные статьи по гидрологии дальневосточных морей.

Синюков абсолютно прав, уделив в своей книге так много места участию Колчака в Русской полярной экспедиции по крайней мере по двум причинам. Во-первых, именно тогда пробудился научный талант Александра Васильевича, написавшего свой первый труд по гидрологии. Во-вторых, полярный исследователь — это не

только ученый, но всегда еще и полярник, способный найти выход из любых экстремальных ситуаций, на которые так щедро Арктика. Не рискуя останавливаться на деталях, которых немало в рецензируемой книге, отмечу, что за поход 1903 г. в отчаянной попытке спасти Толля «за необыкновенный и важный географический подвиг, совершение которого сопряжено с трудом и опасностью», Колчак был награжден Русским географическим обществом Константиновской золотой медалью. (Из полярников эту награду до него получили А.Норденшельд, Н.Юргенс и Ф.Нансен.) Совершенно справедливо и обоснованно Синюков описывает такие достоинства труда Колчака,

как первая морфологическая классификация льдов, схема течений и дрейфа льдов в Северном Ледовитом океане и т.д., выделяя также его вклад в картографию Арктики.

К сожалению, меньше места уделено роли Колчака в плаваниях ледокольных транспортов «Таймыр» и «Вайгач», что, по-видимому, объясняется его возвращением к активной военноморской деятельности в связи с восстановлением российского флота после Цусимы. Действительно, наиболее выдающиеся достижения этой экспедиции (например, открытие Северной Земли) произошли уже в его отсутствие, однако вклад Колчака несомненен. По каким-то причинам автор книги оста-

вил эту проблему будущим исследователям, которые, разумеется, обнаружат еще немало интересного.

Как и всякая многогранная личность, Колчак отличался неординарными вкусами и пристрастиями. Им в книге уделено немало места. Много рассказывает автор и о ближайшем окружении Александра Васильевича. Например, об А.В.Тимеревой, разделившей с ним арест и заключение в Иркутске и пережившей на полвека казнь своего избранника. Ей принадлежат следующие стихотворные строки, не требующие комментария:

Каких людей мы теряем,
Какие уходят люди...
И горше всего, что знаем:
Таких уже больше не будет...

Биография, которой хватило бы на десятерых

Наконец-то увидела свет книга известного полярника 30-х годов прошлого века Михаила Михайловича Ермолаева (1906—1991). Он был участником тех самых первых экспедиций, без которых не обходится ни один труд по истории Российской Арктики, таких как «Моря Советской Арктики» В.Ю.Визе или «История открытия и освоения Северного морского пути» М.М.Белова. Особо отметим, что в мемуарах полностью сохранен дух Ермолаева, его отношение к жизни и событиям, все то, что составляет достоинство незаурядной личности не только выдающегося полярника, но и питерского интеллигента.

Вклад Ермолаева в изучение Арктики определяется его участием в целом ряде событий.

Он исследовал Новую Землю под руководством Рудольфа Лазаревича Самойловича еще до организации Главного управления Северного морского пути во главе с О.Ю.Шмидтом. Он же работал по программе 2-го Международного полярного года на ледниковом щите Новой Земли, когда пришлось выручать зазимовавших промышленников, брошенных фактически на произвол судьбы.

Ермолаев зимовал на Большом Ляховском острове в составе экспедиции Академии наук под руководством Н.В.Пинеги-на; участвовал в 1-й Высокоширотной экспедиции 1935 г. под руководством Г.А.Ушакова и Н.Н.Зубова на ледокольном пароходе «Садко».

Михаил Михайлович был в составе 2-й Высокоширотной экспедиции 1937 г., завершив-



М.М.Ермолаев (в соавторстве с **Т.Львовой**). ВОСПОМИНАНИЯ.

СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 290 с.

шейся, как известно, вынужденным дрейфом в «караване трех кораблей» с последующей доставкой самолетами на Большую Землю.

Один перечень участников событий — целое созвездие научных знаменитостей. И все это за какие-то 12 лет активной деятельности, прерванной необоснованным арестом.

Органы НКВД обвинили его в шпионаже в пользу Франции, уничтожили подготовленную докторскую диссертацию и отправили на Воркутинскую магистраль. Читателю, даже далекому от событий тех лет, нетрудно представить, какой урон понесла наша наука, — что было, то было... После многочисленных испытаний он вернулся смертельно уставшим, с огромными душевными травмами, но — несломленным; тут же бросился в преподавательскую работу, совмещая ее с научной, сначала в Архангельском пединституте, а потом в Ленинградском и Калининградском университетах. Биография, которой в иное время хватило бы на десятерых.

Возможно, в попытках наверстать упущенное ему было не до написания воспоминаний, которыми он щедро делился при встречах со многими из нас. Здесь надо сказать отдельное спасибо его соавтору, Тамаре Львовне Львовой, взвалившей на свои плечи непомерный труд спасти хоть что-то небольшое из мемуаров Михаила Михайловича. Отмечаю это не только с благодарностью за то, что она совершила, но и с чувством сожаления, что ей не удалось сделать по независящим от нее обстоятельствам, ибо в книгу вошло далеко не все, чем мог бы поделиться сам Ермолаев, — он просто не успел.

О том, что книга имела другое название «Арктика моей молодости. Воспоминания», можно узнать только из оглавления. Открывается она двумя «Происшествиями». Первое — встреча на Марсовом поле в Петербурге

с маленьким ненцем, отец которого катал на нартах с упряжкой оленей всех желающих (было такое в далеком 1911 г.), повторившаяся спустя 15 лет на берегах Индиги. Второе — свое, особое приобщение к Арктике, ибо по сути автор мемуаров, работав во время знаменитого ленинградского наводнения 1924 г. скоротечную чахотку, отправился туда умирать, но получилось иначе. «Все-таки не совсем случайно «выбирает» нас случай <...>. Не знаю, заслуженно или нет, но случай «выбрал» меня, я стал полярником», — делится Михаил Михайлович размышлениями. У каждого полярника свой «случай», но свою избранность Ермолаев доказал жизнью.

Даже тем, кого не обделила полярная судьба, остается только завидовать белой завистью при чтении первой части книги — «На шхуне «Эльдинг»». В ней описана экспедиция 1925 г., выполненная Институтом по изучению Севера (предшественником современного Арктического и Антарктического научно-исследовательского института). Ее итогом стал обход Новой Земли, ликвидация последних белых пятен на ее карте и переход к современным исследованиям, в основе которых лежит изучение природных процессов. Какая великолепная школа для начинающего исследователя: быть в созвездии ученых первой величины, начиная с Самойловича, приобщившегося к Арктике под руководством самого В.А.Русанова. Это ли не эстафета преемственности полярных исследований разных лет? И может ли современная наука развиваться иначе?

Часть вторая — «В краю мамонтов» — посвящена зимовке на Большом Ляховском острове в совсем иной обстановке, где Михаилу Михайловичу пришлось решать серьезные научные задачи (и это при незаконченном высшем образовании!). По полученным результатам он стал основоположником нового научного направления — мерз-

лотной геоморфологии. Помимо большого вклада в четвертичную палеонтологию, археологию и ряд других наук. А сколько нестареющих жизненных наблюдений!

«Арктика, видно, меня хорошо воспитала. Из всех своих арктических качеств я придаю самое большое значение умению ждать <...>. Мы должны бережно хранить память о прошлом. Иногда один жизненный эпизод говорит нашему чувству и разуму больше, чем тома научных исследований», — и это в 23 года! А вот обращение к тем, кто десятилетия назад был с ним рядом, в Арктике: «Мои дорогие, незабываемые арктические друзья, друзья моей молодости! Я помню вас, я, последний из вас, оставшийся сегодня в живых <...>. Помню нашу дружбу, нашу душевную сплоченность, увлеченность общей работой на далекой ледяной земле мамонтов в полярной ночи». Если человек сохраняет подобные воспоминания до конца жизни — значит, ему сильно повезло, несмотря на все последующие испытания.

Третья часть — «Мы возвращаемся домой» — посвящена якутской глубинке. По пути в Якутск Ермолаев описал Тукуланский перевал в Верхоянском хребте и способы спуска с него (теперь там наладили обходной маршрут по автодороге), бандитизм на дальних окраинах, лезпрозорий в глухомани, растрянность местных коммунистов-идеалистов при встрече с жертвами коллективизации, гонки за золотом на Алдане и многое другое.

Не одной только наукой жил Михаил Михайлович, что особенно отчетливо проявилось в заключительной части — «Из воспоминаний М.М.Ермолаева (в книгу об Арктике не предназначенных)». Несомненно, он оставил очень ценные жизненные наблюдения, которыми до поры до времени не спешил поделиться, — сужу об этом по опыту собственных встреч с ним. Много из рассказанного мне лично

(например, обстоятельства его награждения в Кремле) совпадают с опубликованным в деталях. Другие его рассказы, возможно, требуют проверки или подтверждения. Когда в воркутинских лагерях его, беззащитного зека, хлестал по щекам один из приспешников Берии по фамилии Гоглидзе и на недоуменный вопрос истязаемого: «Это же фашизм», — отвечал: «Возможно. А что это меняет?» — Или деталь пребывания в знаменитых Крестах: Рокоссовского с допросов приносили, — он не мог сам идти. Но вся тюрьма знала: «Костя никого не заложил». Меня поразило это уменьшительно-уважительное «Костя», знак особой близости побывавших там, где человеческому не оставалось места.

Как и многое другое, это, к сожалению, не попало в книгу. Даже рассказ о знаменитом походе в феврале—марте 1933 г. из Русской Гавани к Мысу Желания в книге приведен достаточно фрагментарно, зато Михаил Михайлович удачно вскрыл подоплеку событий — обычный административный кавардак, старая-старая проблема пресловутого северного завоза, когда для ликвидации его последствий приходится совершать подвиги. Как все это знакомо...

При чтении книги надо иметь в виду следующее. Несомненно, автор имеет право на собственную точку зрения, и тем не менее считаю, что противопоставлять О.Ю.Шмидта и Р.Л.Самойловича (при всей симпатии к последнему) мне не представляется оправданным. В Арктике они решали разные задачи. Самойлович успешно руководил изучением ресурсной базы, но его звездный час пробил в 1928 г., когда он возглавил поход «Красина» на спасение итальянской экспедиции Умберто Нобиле.

Шмидт занимался совсем другим — прежде всего транспортным освоением Северного морского пути; как и для большинства его предшественников,

риск был составной частью его работы, только причина стала иной — она исходила не от природы, а от власти. Кстати, сам Михаил Михайлович очень хорошо это подметил, передавая рассказ В.И.Воронина, капитана знаменитого «Челюскина». На таком фоне злосчастная навигация, описанная Ермолаевым, только временная неудача, которая пришлось именно на 1937 г. — дату, которая в нашей истории имеет совершенно однозначный смысл.

Действительно, возвратившись с полюса в июне 1937 г., после отпуска и поездок по стране (в ту пору это был обязательный пропагандистский ритуал) Шмидт на время утратил контроль за событиями в Арктике, где зазимовало 26 судов. Однако, на мой взгляд, причина была в отсутствии самостоятельных решений у руководителей более низкого звена, что типично для советской командно-административной системы в целом, но что, разумеется, не должно было стать поводом для расправы с ними, включая и Самойловича. Та же судьба была уготована и самому Шмидту, просто в НКВД тогда еще не умели расправляться с Героями Советского Союза — это звание Отто Юльевич получил за высадку станции «Северный полюс-1». Самойлович же, наряду со многим другими, оказался более удобным объектом.

Рассказ Ермолаева о «прелестях» ГУЛАГа на этом фоне, увы, выглядит необходимым: как это ни цинично, повествование о 1937 г. без ГУЛАГа было бы просто неполным, ибо он-то и знаменовал утверждение командно-административной системы, став ее высшим достижением. А вот вошедший в книгу рассказ о судьбе парохода «Пижма», якобы сопровождавшего «Челюскина» в известном рейсе 1933—1934 гг., полагаю, давать не стоило по многим причинам. Во-первых, документально это никак не подтверждается, а во-вторых, думаю, про-

изошло наложение реальных фактов, известных по документам Северо-Восточной экспедиции Дальстроя (еще один «госужас» в системе НКВД) 1932—1933 гг. Тогда неподалеку от зазимовавшего «Челюскина» оказались баржи с погибшими заключенными, которых так и не довели до Колымы. Видимо, слухи о них и легли в основу легенды о «Пижме». Когда речь идет о трагедии народа, объективность должна распространяться одинаково и на жертвы, и на палачей.

Жизнь отпустила Михаилу Михайловичу всего полной мерой. Мне пришлось зачитывать официальный адрес по случаю его 80-летия. Чествование проходило в зале Географического общества в Ленинграде. Для большинства присутствовавших это была не просто официальная обязанность, многие пришли, чтобы выразить свою симпатию заслуженному полярнику и очень хорошему человеку, достойно принявшему выпавшие на его долю испытания. Я выступал от имени участников гляциологических исследований в Русской Гавани на Новой Земле по программе Международного Геофизического года 1957—1959 гг. В пору моей научной молодости Ермолаев был непревзойденным авторитетом: мы ссылались на его труды, нередко он выступал незримым судьей в наших серьезных спорах. Долгое время мы равнялись на него, как по горе Ермолаева определяются в наши дни штурманы судов при входе в Русскую Гавань. Так и оставались для нас даже в самый разгар безвременья на карте Новой Земли мыс Ермолаева, гора Ермолаева, бухта Ермолаева и, вместе с ними, надежда на торжество справедливости в будущем.

Конечно, в нашей встрече с этим замечательным человеком был элемент везения. Как часто мы вспоминали Ермолаева. Теперь же, когда его нет с нами, осталась его книга — и, значит, мы не расстались с ним... ■

Астрономия

А.Р.Кинг. ВВЕДЕНИЕ В КЛАССИЧЕСКУЮ ЗВЕЗДНУЮ ДИНАМИКУ. Пер. с англ. В.Г.Сурдина и А.С.Пас-торгуева. М.: Едиториал УРСС, 2002. 288 с.

Редкий, а возможно и уникальный, случай в отечественном научном книгоиздании: учебник американского профессора переведен с рукописи и опубликован на русском языке раньше, чем на родном — в Беркли (США). Переводчики торопились не зря. Уже несколько десятилетий у российских студентов не было пособия по звездной динамике, которая за эти годы успела решительным образом измениться. Это уже не чисто астрономическая дисциплина — она лежит на стыке классической механики и физики плазмы (в звездных системах, как и в плазме, велика роль коллективных эффектов). В ее моделях учитывается не только далекое гравитационное взаимодействие точечных масс, но и приливное и даже прямое физическое взаимодействие звезд при их тесном сближении и соударении. В уравнениях звездной динамики учитывается присутствие в Галактике массивных межзвездных облаков и черных дыр.

Автор — профессор астрономии Калифорнийского университета Айвэн Кинг — мировой авторитет в изучении звездных скоплений и галактик. Трудно встретить работу по этой тематике, в которой не упоминались бы «закон Кинга» и «кривые Кинга». В основу книги положены лекции, которые автор многие годы читал студентам. При этом некоторые вопросы динамики бесстолкновительных систем впервые изложены с исчерпывающей полнотой.

Обсуждаются теории орбит, потенциала галактик, спиральной структуры галактических дисков и приливного взаимодействия звездных систем, а также теорема вириала в тен-

зорной форме и важнейшие ее приложения. Рассмотрена динамическая эволюция звездных скоплений — от их исходного нестационарного состояния до самых поздних стадий, приводящих к коллапсу ядра. От читателя требуется знание общих положений астрономии и основ небесной механики.

Палеоэкология

Д.И.Берман, А.В.Алфимов, Г.Г.Мажитова и др. ХОЛОДНЫЕ СТЕПИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ. Магадан: ИБПС ДВО РАН, 2001. 183 с.

Время расцвета мамонтов и «мамонтной фауны» — последний ледниковый период, закончившийся примерно 12 тыс. лет назад. Однако его ландшафтные условия, давно и детально изучаемые, известны все еще недостаточно. Предлагаемая монография вносит свою лепту в эту проблему.

Работа посвящена реликтовым степным сообществам, которые сохранились, как полагают авторы, еще с нижнего плейстоцена (1.7 млн лет) крошечными пятнышками в горах северо-востока Азии. Только здесь уцелел уникальный набор растений и насекомых со специфическими требованиями к среде обитания, что позволяет ученым использовать эти организмы в качестве тонких индикаторов былых ландшафтных условий.

Авторами монографии изучены не только микроклимат и почвы, высшая растительность и беспозвоночные животные, но и почвенная микрофлора наиболее климатически суровых («ветроударных» бесснежных) холодных степей в верховьях Колымы.

Основываясь на полученных данных, авторы описали ландшафты в плейстоцене. Новая реконструкция предполагает, во-первых, — крайнюю бедность и низкую продуктивность ксеро-

фитного растительного покрова, во-вторых, — весьма близкие к современным летние температуры, но при много большей континентальности климата. Все это плохо укладывается в традиционное представление об изобилии травоядных животных в плейстоцене и тем самым ставит его под сомнение.

Энтомология

И.А.Засыпкина, А.С.Рябухин. АМФИБИОТИЧЕСКИЕ НАСЕКОМЫЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ. София; Москва; Лейден: Pensoft Backhuys Publishers BV, 2001. 183 с.

Монография посвящена многообразному миру насекомых. Как известно, одни из них (коллемболы и некоторые виды клопов) живут на поверхности воды, у других (стрекоз, поденок, веснянок, вислоккрылок, ручейников, жуков и двукрылых) в воде обитают только личинки.

Книга — результат кропотливой работы авторов по обобщению литературных данных об амфибиотических насекомых северо-востока России, а также оригинальных исследований фауны поденок, веснянок и ручейников, выполненных Засыпкиной.

В монографии подробно описана история изучения пресноводных насекомых на уникальной и труднодоступной территории России за период с 1856 по 2000 г. Приведены сведения о местах нахождения 763 видов, относящихся к девяти отрядам, их общем распространении и экологии. Оценив уровень таксономического разнообразия и зоогеографический состав, авторы не находят региональной специфичности энтомофауны, поскольку в ней преобладают палеарктические и голарктические виды. Они полагают, что небольшим числом эндемиков региона (22 вида) совместно с берингийскими (30 видов) определяется

низкий уровень оригинальности фауны насекомых.

Геология

М.Х.Махлина, А.С.Алексеев, Н.В.Горева и др. СРЕДНИЙ КАРБОН МОСКОВСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ (ЮЖНАЯ ЧАСТЬ). Т.2: Палеонтологическая характеристика. М.: Научный мир, 2001. 328 с.

Эта работа — результат многолетних исследований, проведенных на кафедре палеонтологии геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, в Палеонтологическом и Геологическом институтах РАН по программе Департамента природных ресурсов Центрального региона.

В первом томе монографии описывались типовые и опорные разрезы с послыными списками ископаемых. Там же рассматривались вопросы палеогеографии и глобальная корреляция московского яруса.

Во втором томе дана палеонтологическая характеристика

ка московского и самых нижних слоев касимовского яруса верхнего карбона. Основная цель работы — биостратиграфическое обоснование детального расчленения и глобальной корреляции московского яруса, что необходимо для включения его в международную хроностратиграфическую шкалу каменноугольной системы. Описаны наиболее важные в стратиграфическом отношении группы ископаемых — конодонты и аммоноидеи, а также новые виды и роды кораллов, брахиопод, мшанок и водных позвоночных.

История науки

ФЕНОМЕН СПІВІСНУВАННЯ ДВОИХ ПАРАДИГМ: КРЕАЦІОНІЗМУ ТА ЕВОЛЮЦІЙНОГО ВЧЕННЯ:

Збірник статей. Київ: НВП «Вірій», 2001. 182 с.

Исторически сложилось так, что феномен жизни рассматривается с двух противоположных позиций: все имеющееся разнообразие форм живого возникло

в результате акта творения или в результате самозарождения и последующего усложнения в процессе длительного эволюционного развития.

14 декабря 2000 г. в стенах Международного Соломонова университета (Киев) прошла конференция, посвященная столкновению двух парадигм. Ее участники выясняли, что в каждой из концепций основывается на научных фактах, а что — на вере и допущениях.

Сборник содержит материалы наиболее интересных выступлений. Статьи сохранены в авторской редакции как на украинском языке, так и на русском.

Издатели не ставят целью рассмотрение феномена так называемых организованных религий, и само понятие «религия» здесь выступает как синоним современного термина «мировоззрение». Вопросы, затронутые сторонниками обеих концепций, представляют интерес для широкого круга читателей, задумывающихся над проблемами мироздания.

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
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
П.А.ХОМЯКОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредители:
Президиум РАН,
Издательско-производственное
и книготорговое
объединение «Наука»
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
Подписано в печать 16.09.2002
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 6621
Набрано и сверстано в редакции

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