

ПРИРОДА

7 02



В НОМЕРЕ:**3 Берлянт А.М.****Виртуальное картографирование**

Компьютерные геоизображения, которыми можно управлять с помощью специальных программ, в ближайшее время станут одним из самых эффективных пособий при изучении географии.

10 Корочкин Л.И.**Онтогенез, эволюция и гены**

Исходя из принципа единства исторического и индивидуального развития, можно попытаться распространить экспериментально доказанные особенности онтогенеза на обусловленные ими эволюционные события.

Научные сообщения**20 Сурдин В.Г.****Космологический «бариметр» — гелий-3****Новости из жизни ускорителей (44)****Несис К.Н.****Микробы под дном океана и внеземная жизнь (79)****Калейдоскоп****22**

Глубинные воды Средиземного моря теплеют

Заметки и наблюдения**23 Шлотгауэр С.Д.****Каменный исполин Охотоморья****Булавинцев В.И.****Черный дятел, или желна (29)****34 Островский Б.И.****Динамика смектических мембран в лучах синхротрона**

Благодаря новым мощным источникам синхротронного излучения, обладающим когерентными свойствами, можно не только определять структуру веществ, но и изучать ее динамику на молекулярной шкале расстояний.

46 ПРОЩАНИЕ С ВИКТОРОМ ЯКОВЛЕВИЧЕМ ФРЕНКЕЛЕМ**Дьяков Б.Б.****Наука в судьбах ее лидеров (46)****Рубинин П.Е.****«О Физтехе он знает все...» (50)****Холлоуэй Д.****Его отличало интеллектуальное благородство (62)****67 Богданов Ю.А., Сагалевиц А.М., Лукашин В.Н.****Формирование донных осадков в районе гибели «Титаника»**

Специфические донные отложения, формирующиеся под влиянием интенсивных вдольсклоновых течений, служат надежным критерием для распознавания различных структур океанского дна, а их аналогии в древних толщах можно использовать для палеорекоплекций.

75 Корниенко Е.С., Касьянов В.Л.**Семейные тайны морских игл и коньков****Новости науки****81**

Новая загадка черной дыры (81). Предсмертное дыхание кометы Борелли (81). Самая высокогорная обсерватория (82). Химический состав Луны (82). Свидетельствуют ископаемые метеориты (83). Пропавший космический газ найден (84). «Нобелевка» для математиков (84). Квантовый компьютер разложил число 15 на множители (85). Материалы для приборов ночного видения (85). Флора островов Галапагос в опасности (86). Волк вернулся (86). «Пригвожденный к месту» Африканский континент (86). Цунами в компьютере (87). Океанологический прогноз на месяц (88). Странная гора Мак-Кинли (88). Тропики влияют на климат Северной Атлантики (89). Скорость роста зубов у *Homo erectus* Гиляров Д.А. (89).

Рецензии**90 Чернышев В.Б.****Поэма о совершенстве красоты бабочек****Несис К.Н.****Жемчужины Дальнего Востока (91)****Новые книги****93****В конце номера****94 Портнова И.В.****Природа как источник вдохновения**

CONTENTS:

3 **Berlyant A.M.** **Virtual Mapping**

Computer-based geographic imagery managed by special software will in the near future become one of the most effective aids for studying geography.

10 **Korochkin L.I.** **Ontogenesis, Evolution, and Genes**

Proceeding from the principle of the unity of historical and individual development, one might attempt to extend the experimentally demonstrated ontogenetic features to the evolutionary events due to them.

Scientific Communications

20 **Surdin V.G.** **A Cosmological "Bariometer": Helium-3**

News about Accelerators (44)

Nesis K.N.
**Microbes beneath the Ocean Floor
and Extraterrestrial Life (79)**

Kaleidoscope

22 Abyssal Waters of the Mediterranean Getting Warmer

Notes and Observations

23 Shlotgauer S.D.
**The Stone Giant in the Sea of Okhotsk
Area**

Bulavintsev V.I.
The Black Woodpecker (29)

34 Ostrovskii B.I.
**Dynamics of Smectic Membranes
under Synchrotron Irradiation**

Modern intense sources of synchrotron radiation with coherent properties make it possible to study not only the average structure of substances but also its dynamics on the molecular scale.

46 **FAREWELL TO VIKTOR YAKOVLEVICH FRENKEL**

Dyakov B.B.
Science in the Lives of Its Leaders (46)

Rubin P.E.
**"He Knows Everything about
PhysTech..." (50)**

Holloway D.
**He Was Distinguished by Intellectual
Nobleness (62)**

67 **Bogdanov Yu.A., Sagalevich A.M., and Lukashin V.N.** **Accumulation of Bottom Sediments in the Vicinity of the Sunken Titanic**

Characteristic bottom sediments formed under the influence of intense slope-parallel currents serve as a reliable criterion for recognizing various seafloor structures, and their analogues in ancient sediment sequences can be used for paleoreconstructions.

75 **Kornienko E.S. and Kasyanov V.L.** **Family Secrets of Pipefishes and Sea Horses**

Science News

81 A New Riddle of Black Holes (81). The Death Breath of Comet Borelli (81). The Most High-Mountain Observatory (82). The Moon's Chemical Composition (82). Fossil Meteorites Give Evidence (83). Lost Cosmic Gas Found (84). The Nobel Prize for Mathematicians (84). A Quantum Computer Factorized the Number 15 (85). Materials for Night Vision Devices (85). The Flora of the Galapagos Islands Endangered (86). The Wolf Has Come Back (86). The African Continent Rooted to the Spot (86). Tsunami on a Computer (87). An Oceanological Forecast for the Month (88). The Strange Mount McKinley (88). The Tropics Influence the Climate of North Africa (89). The Tooth Growth Rate of *Homo erectus*. Ghilarov D.A. (89).

Book Reviews

90 Chernyshev V.B.
**A Poem of the Perfect Beauty of
Butterflies**

Nesis K.N.
Pearls of the Far East (91)

New Books

93

End of Issue

94 Portnova I.V.
Nature as a Source of Inspiration



Виртуальное картографирование

А.М.Берлянт

В последние несколько лет в компьютерной картографии начало формироваться новое направление — виртуальное моделирование и картографирование. Английское слово «virtual» означает фактический, действительный, в смысле, близком к слову «реальный». В науке и технике, философии и логике этот термин имеет и другие смысловые оттенки — возможный, потенциальный; не существующий, но способный возникнуть при определенных условиях; временный, или непродолжительно существующий; не реальный, но практически неотличимый от реального.

В технической практике виртуальная реальность рассматривается как искусственный мир, созданный компьютером, в который человек может погружаться и с которым может взаимодействовать. Для этого созданы особые шлемы-дисплеи, позволяющие видеть эту «параллельную реальность» стереоскопически и даже фиксировать состояние и реакции наблюдателя. Разработаны различные тренажеры и манипуляторы (например, специальные перчатки), с помощью которых можно «брать в руки» искусственно созданные объекты и управлять их положением, передавая на монитор импульсы от движения рук и пальцев.

В современной компьютерной картографии виртуальная реальность предстает как некое искусственное построение, модель реального или абстрактно-



Александр Михайлович Берлянт, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — географическая картография, геоинформатика, теория геоизображений.

го объекта или ситуации, которая существует в программно управляемой среде. С ними можно взаимодействовать — управлять ими, решать какие-то задачи и принимать решения — с помощью определенных программ. Всякое геоизображение предстает в графической образной форме, имеет проекцию, масштаб и обладает генерализованностью [1]. Сам процесс создания таких изображений называют виртуальным моделированием (иногда как синоним употребляют термин «виртуальное картографирование»).

Визуализация виртуальной реальности опирается прежде всего на применение эффектов трехмерности и анимации. Именно они создают иллюзию присутствия и перемещения в объемном пространстве. При этом реализуются четыре главных свойства:

— сочетание в одном геоизображении свойств карты, перспективного снимка, блок-диаграммы и анимации;

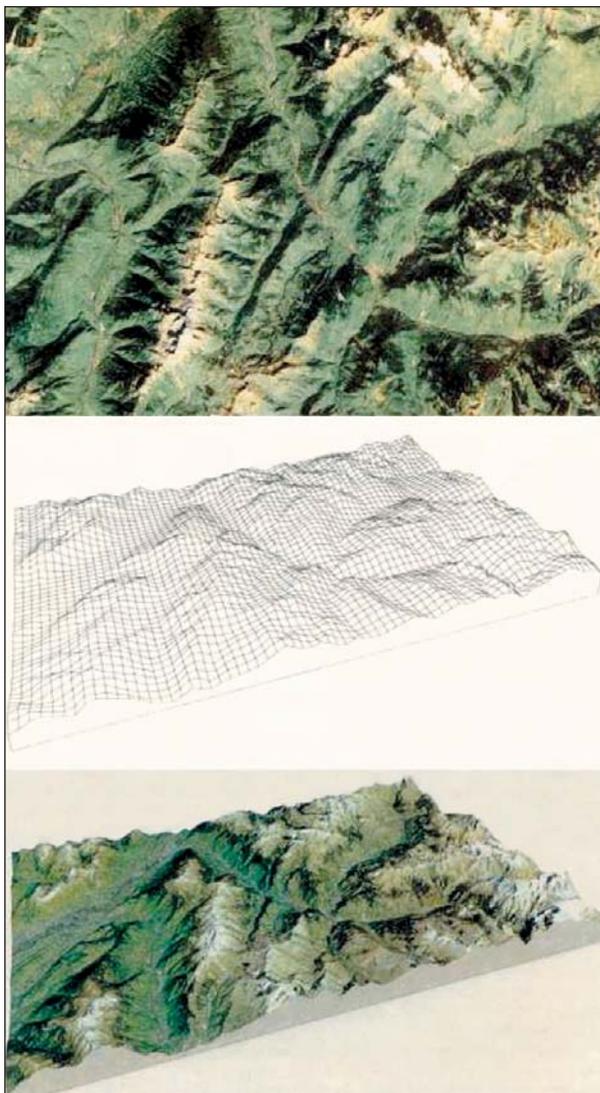
— возможность программного управления этим синтезированным геоизображением;

— интерактивное взаимодействие с самим геоизображением и окружающей его виртуальной средой;

— уменьшение свойств знаковой и условности геоизображения, придание ему реалистических черт.

Создание виртуальных карт

Как создают такие карты? Вначале по топографическим картам, аэро- или космическим снимкам создают цифровую модель рельефа, т.е. изображение рельефа, построенное по значениям высот, обычно расположенным в узлах регулярной сетки. Затем на эту рельефную блок-диаграмму накладывают предварительно откорректированное фотоизображение местности, полученное в результате дистанционной съемки [2].



Построение фото-блок-диаграммы [2]. Вверху — космический снимок одного из районов Франции (окрестности Альбервиля), в середине — цифровая блок-диаграмма рельефа того же района, внизу — блок-диаграмма с «натянутым» на нее фотоизображением.

Далее на построенную фото-блок-диаграмму наносят тематическое содержание (знаковую нагрузку), надписи, выполняют цветное оформление и редактируют все изображение.

Следующий этап — определение узловых сцен (кадров) и выбор траектории движения или вращения модели. При этом компьютерная программа рассчитывает промежуточные кадры и запускает анимацию. После этого можно сформировать внешние эффекты окружающей среды

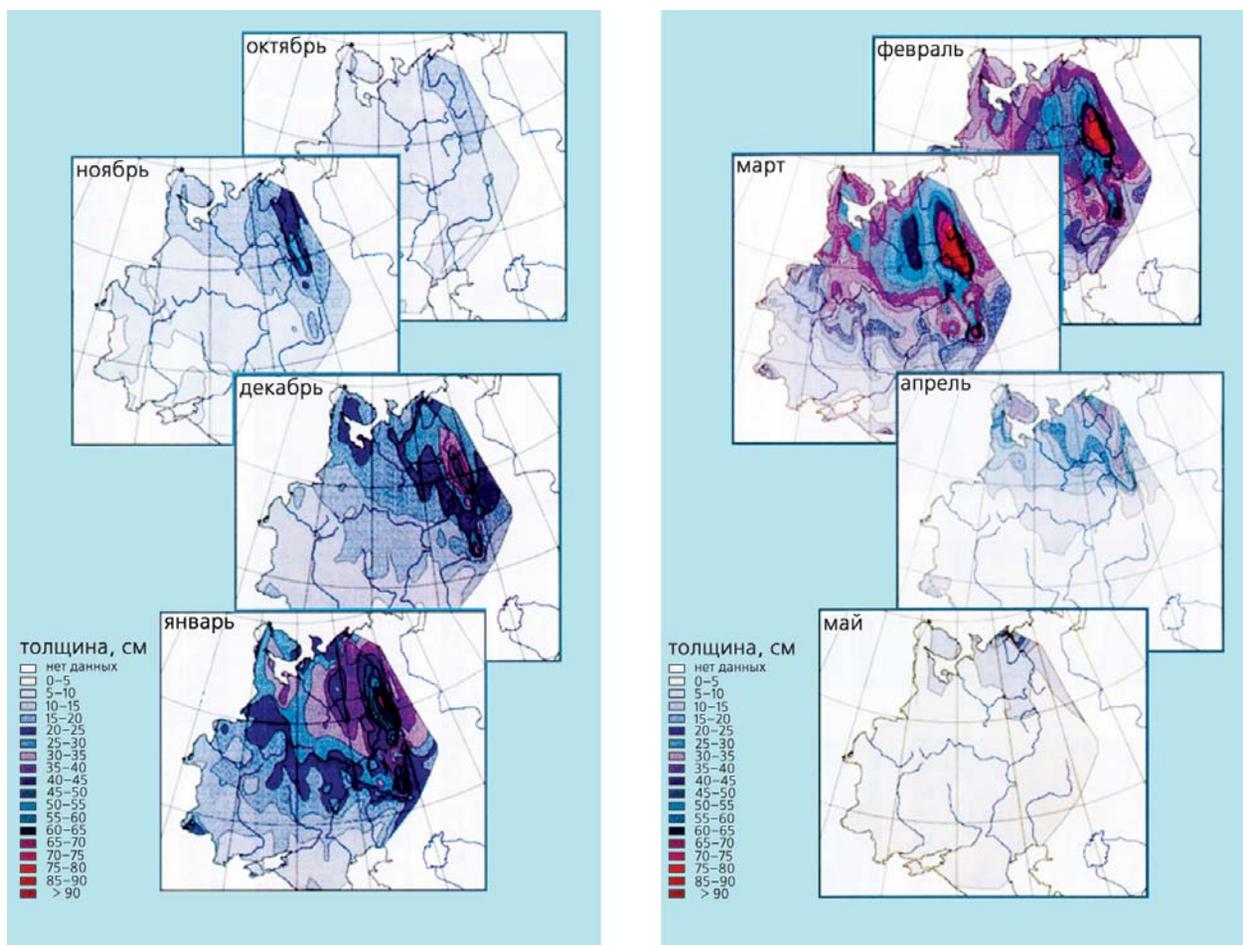
(солнечное освещение, туман, дождь и т.п.) и создать средства интерактивного взаимодействия с ними, добавить звуковое сопровождение, например шум дождя, плеск прибоя и др. Отдельные операции этого алгоритма, такие как нанесение дополнительных объектов, выбор состояния окружающей среды, внесение мультимедийных эффектов могут быть пропущены, другие добавлены, например расчет распределения теней в городе или в горах.

Таким образом, виртуальное геоизображение включает изображение самого объекта, окружающей его виртуальной среды, а также средства взаимодействия их между собой и с наблюдателем (пользователем), который получает возможность интерактивно управлять и объектом, и средой. Соответственно система виртуального моделирования содержит три подсистемы: формирования виртуальной модели; управления средой и изменения ее параметров; внесения из базы данных дополнительной информации, новых, в том числе абстрактных объектов.

Анимации

В технологиях виртуального моделирования большую роль играет анимационное картографирование, которое представляет собой одну из ветвей оперативного компьютерного картографирования. Речь идет о создании и анализе карт в реальном, или близком к реальному времени. Пробраз анимации — традиционные карты динамики, на которых фиксируются состояния объектов в разные моменты времени. Серии таких карт показывают последовательность смены ситуаций, подобно тому как это происходит в мультфильме. Собственно говоря, анимации — это современный компьютерный этап развития мультипликации. И если раньше сотни мультипликационных кадров рисовали вручную, то теперь анимации создают при помощи специальных компьютерных программ, которые «оживляют» изображение (отсюда и само слово «анимация»), заставляют его перемещаться, изменять ракурсы, форму, окраску и т.п.

Анимации применяли вначале для слежения за быстро меняющимися событиями и явлениями (например, за наводнениями или лесными пожарами), для мониторинга и оценки сельскохозяйственных посевов, этапов их развития, созревания.



Серия компьютерных карт распределения снежного покрова на территории Европейской равнины (с октября по май), представленная в виде анимации [3].

Потом их стали использовать для визуализации медленно протекающих процессов, таких как меандрирование рек, и даже для палеогеографических реконструкций, например моделирования раскола праматерика Гондвана и перемещения континентов.

Так, на серии анимационных карт-кадров были прослежены становление и сход снежного покрова на Европейской равнине [3]. В северо-восточных районах снег ложится уже в конце октября, максимальная его толщина наблюдается на Северном Урале, оставаясь такой в течение всего зимнего периода. В ноябре появляются локальные максимумы в верховьях Дона и к востоку от Онежского озера. В декабре

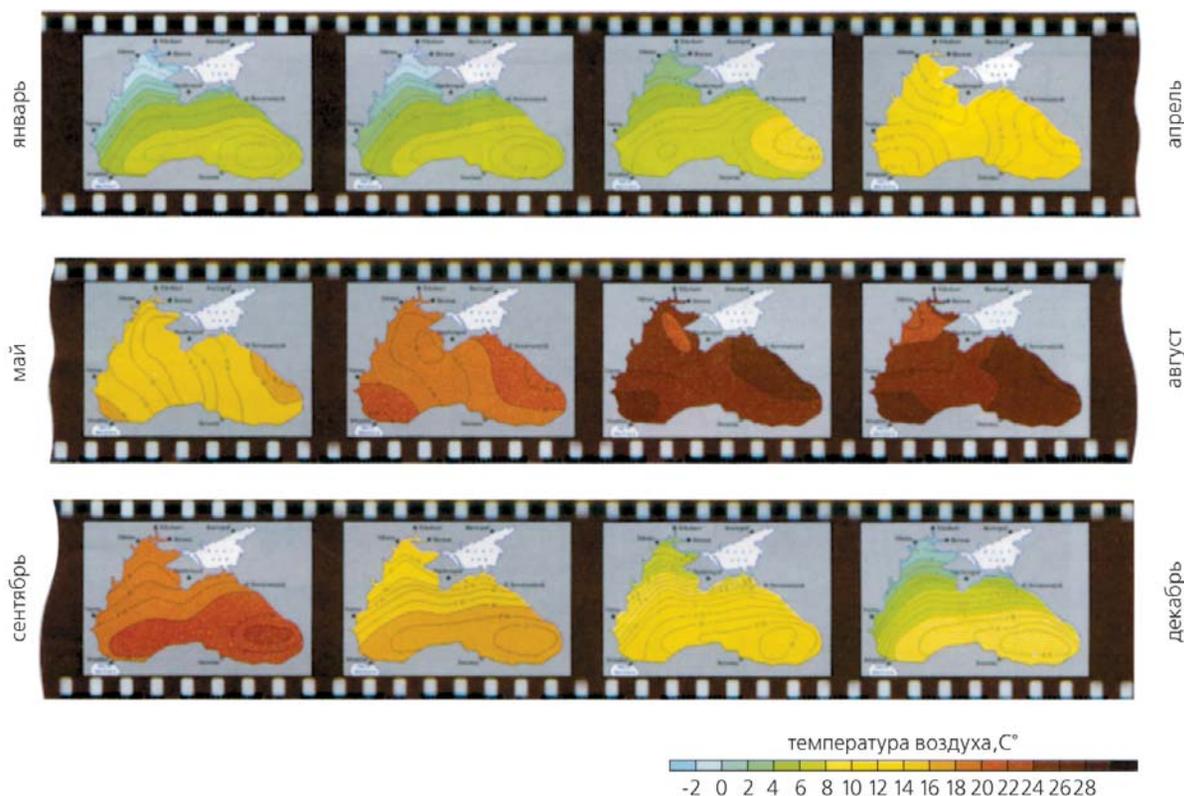
устойчивый покров формируется на всей территории, за исключением Северного Кавказа. В январе картина распределения снежного покрова складывается окончательно. Таяние начинается в феврале-марте, а к апрелю граница снежного покрова смещается к 60° с.ш. В конце мая снег остается только на Полярном Урале.

Еще один пример — моделирование быстро меняющихся гидрофизических параметров морей и океанов. С помощью географической информационной системы «Черное море» [4] была представлена динамическая последовательность карт изменения температуры воздуха в пределах акватории Черного моря. Анимационный модуль

этой системы способен создавать аналогичные последовательности не только для температур, но для осадков и ветров. Анимации можно запускать в прямом и обратном порядке, меняя при этом скорость демонстрации, а кроме того интерполировать значения избранного показателя и строить карту-кадр на любую заданную дату.

Современные компьютерные программы содержат наборы модулей, обеспечивающих самые разные варианты и комбинации анимаций:

- перемещение всего картографического изображения по экрану;
- мультипликационный показ последовательности карт-кадров или блок-диаграмм;



Анимационная последовательность среднемесячных температур у поверхности воды, составленная с помощью географической информационной системы «Черное море» [4].

— изменение скорости демонстрации, покадровый просмотр, возврат к избранному кадру, обратная последовательность;

— перемещение отдельных элементов содержания (объектов, знаков) по карте;

— изменение отдельных элементов карты, их размеров, формы, ориентации и др.;

— мигание знаков, варьирование окраски, изменение ее интенсивности, создание эффекта вибрации цвета;

— изменение освещенности или фона, «подсвечивание» и затенение отдельных участков карты;

— панорамирование, изменение проекции и перспективы (точки обзора, ракурса, наклона), вращение блок-диаграмм;

— варьирование масштабом изображения или его части, использование эффекта наплыва или удаления объекта;

— создание эффекта движения над картой (облет территории), в том числе с разной скоростью.

Многие из этих эффектов можно ежедневно видеть на экране телевизора, когда рельефная карта России наплывает на зрителя и медленно поворачивается перед ним, по ней движутся циклоны и антициклоны, «ползут» линии атмосферных фронтов, а из значка облачности идет дождь или выглядывает солнце. Сложные компьютерные анимации понятны каждому зрителю, можно сказать, что эти технологии уже вошли в повседневный быт. Вот только прогнозы не всегда оправдываются.

На одном из рисунков показаны восемь кадров 16-секундной анимации, воспроизводящей «облет» вулканической горы Худ в штате Орегон (США). Во время этого краткого полета гора видна под разными ракур-

сами и с разной удаленностью от наблюдателя [5].

Тот факт, что анимации можно демонстрировать с нормальной, ускоренной или замедленной скоростью, ставит новые и пока еще непривычные проблемы. Одна из них — введение **временного масштаба**. Можно, например, говорить о медленно-, средне- и быстромасштабных изображениях, приняв, например, следующие соотношения: 1:86 000 (одна секунда демонстрации анимационной карты соответствует округленно одному суткам); 1:600 000 (в одной секунде — одна неделя); 1:2 500 000 (в одной секунде — один месяц); 1:31 500 000 (в одной секунде — один год).

Звуковые эффекты

При виртуальном моделировании широко используют зву-

ковое сопровождение, прежде всего для «пояснения» изображенных объектов: при указании на них курсором слышится звуковая подсказка, звучит название объекта или его словесная характеристика.

Особые программные модули дают возможность воспроизводить реальные звуки, например, журчание ручья, шелест леса, и это создает иллюзию присутствия на местности. Можно еще более усилить восприятие состояния окружающей среды, воссоздавая шум дождя, раскаты грома, грохот извержения вулкана и т.п.

Еще одно направление использования звуковых эффектов — характеристика качества карты. Так, при приближении курсора к участкам изображения, слабо обеспеченным данными или имеющим недостаточную точность, усиливается шум, символизирующий наличие помех.

Электронные технологии позволяют добавить к традиционно используемым в картографии графическим средствам еще и варьирование характера звука, его громкости, высоты, продолжительности. Проводятся десятки экспериментов, чтобы определить, каковы правила применения звуковых средств при виртуальном картографировании, как должны сочетаться анимация и звук. Ясно, например, что изображение дождя требует введения его шума.

Таким образом, речь идет об использовании в картографии средств мультимедиа, т.е. много-средних технологий, в которых сочетаются видеоизображения (карты, снимки, фотографии), анимации, звуки и, конечно, тексты. Необходимость сочетания разных документов хорошо известна из прошлого, докомпьютерного опыта: достаточно вспомнить, что обычные школьные и особенно краеведческие атласы всегда содержали карты, тексты, диаграммы, снимки, рисунки и фотографии. Теперь все это еще и движется, и звучит. Применение мультимедийных программ при виртуальном карто-



Виртуальный облет горы Худ, штат Орегон, США [5]. Кадры 16-секундной компьютерной анимации. На каждом из восьми кадров отмечены секунды виртуального полета.

графировании ведет к созданию синтетических произведений, которые содержат видео- и аудиосредства не только для показа самих картографируемых объектов, но и окружающей среды.

Взаимодействие с виртуальными моделями

Создатели виртуальных геоизображений особенно подчеркивают возможность человека погружаться в виртуальную реальность и контактировать с моделью. Хорошим примером может служить технология «Виртуальные границы», разработанная одной из фирм [6]. Она позволяет не только конструировать виртуальные модели, но летать над ними. Программа содержит шесть модулей:

Первый — управление полетом — обеспечивает следование по избранному направлению, повороты и развороты, изменение скорости полета, показ перспективы и обычной карты, на которую по мере движения наносится маршрут;

Второй — точность навигации — позволяет с помощью мыши, клавиатуры и джойстика (манипулятора) выполнять кон-

троль полета на заданной высоте, с заданной скоростью, над точками с заранее избранными координатами (широтой и долготой), точно выдерживать высоту относительно уровня моря или рельефа местности;

Третий — редактирование маршрута — обеспечивает диалоговую прокладку полета, построение трассы маршрута по заданным цифровым координатам X, Y, Z, слежение за линией полета и его отображение на блок-диаграмме, которая выводится на экран в отдельном окне;

Четвертый — установка состояния окружающей среды — позволяет выбрать вид земного покрова, степень детализации объектов на местности, установить преувеличение вертикального масштаба модели относительно горизонтального, выбрать состояние неба (облачность, туман), угол и интенсивность освещения, время дня;

Пятый — редактирование объектов — осуществляет размещение и изменение текстуры трехмерных объектов на фоне местности, расположение надписей (размер и цвет шрифтов, поворот надписей), добавление текстов, звука, снимков;

Наконец, шестой — тематическое картографирование —



Виртуальное изображение вулкана Сент-Хеленс, Каскадные горы, США [6]. Внизу — диалоговое окно «Управление полетом», обеспечивающее заданные высоты, скорость и направление полета.

Виртуальное изображение горы Куин-Бесс, Береговой хребет, Канада [6]. Внизу — два окна модуля: «Редактирование полета» с картой, где отмечен маршрут, и «Состояние окружающей среды», с помощью которого устанавливаются облачность, туман и земной покров.

запуск картографической программы, связь с таблицами и другими данными, выбор линий, точек и их характеристик, нанесение дополнительных объектов, использование цветных сеток, подложек и других элементов дизайна.

На моделях гор можно видеть, как при виртуальном облете они поворачиваются к наблюдателю разными сторонами. Пользователь может уменьшить скорость, снизиться над ними и разглядеть ландшафт подробнее. Впечатление реальной ситуации усиливается еще и такой деталью: небольшой катер медленно плывет по глади озера.

По описанной методике получают крупномасштабные и довольно подробные виртуальные изображения рельефа и ландшафта, геологического строения, водных объектов, растительного покрова, городов, путей сообщения и т.п. Возможность интеграции разной тематической информации в одной модели — одно из главных достоинств виртуального геоизображения. Пролетая и зависая над горными склонами, можно их детально рассмотреть, провести морфометрические измерения, определить характер эрозии и оползневых процессов, а двигаясь над виртуальным горо-

дом, — оценить особенности застройки и распределение зеленых массивов, спроектировать размещение новых зданий и транспортных магистралей.

Разработка компьютерных технологий в настоящее время ориентирована главным образом на решение практических задач, таких, например, как мониторинг районов природного риска, строительство зданий и автострад, прокладка трубопроводов, оценка загрязнения среды и распространения шумов от аэропортов и т.п. Вполне возможно создание средне- и мелкомасштабных виртуальных геоизображений, показываю-

щих, скажем, природную зональность земного шара, ход климатических процессов, сезонные изменения растительного покрова и ландшафта, миграции населения, движение транспортных потоков и т.д. Сюжеты виртуальных тематических карт столь же разнообразны, как и в традиционном картографировании. Известны даже примеры виртуальных тематических глобусов.

Виртуальные геоизображения в обучении

Безусловно, самая обширная область применения виртуальных геоизображений — обучение на всех уровнях, от начального до высшего. Школьники прекрасно подготовлены к этому благодаря широко распространенным компьютерным играм, которые увлекают их в мир виртуальной реальности. Погони по головоломным лабиринтам, войны в космическом пространстве, автогонки по пересеченной местности — дети самых разных возрастов легко осваивают эти и многие другие электронные развлечения. Индустрия компьютерных игр приносит высокие прибыли. Виртуальная реальность, в том числе геоизображения (карты и глобусы), нашла применение и в тренажерах, используемых для подготовки летчиков и космонавтов.

Специальные психологические исследования [7] показывают, что компьютерные игры активно развивают навыки восприятия пространства, умение быстро ориентироваться на местности и принимать решения

в незнакомой обстановке, оценивать размеры объектов и расстояния между ними.

У виртуальных геоизображений кроме перечисленных имеется еще несколько достоинств. Прежде всего, это полная иллюзия полевого наблюдения, возможность определения абсолютных и относительных высот, расстояний и длин, площадей, углов наклона, причем сразу с получением цифровых значений; развитие навыков активного обучения и самообучения, высокий уровень интерактивности (обратная связь в системе человек—геоизображение и развитие коммуникативных навыков).

Очевидно, программно управляемые виртуальные геоизображения в самое ближайшее время станут одним из наиболее доступных и эффективных пособий при изучении географии и других наук о Земле. Еще раз напомним, что нет глубокой пропасти между динамическими картами и картографическими анимациями, что традиционное создание атласов находит прямое продолжение в современных мультимедийных технологиях, а компьютерные модели с элементами виртуальной реальности стали повседневной и вполне привычной телевизионной картинкой.

Поэтому необходимо специальное изучение психофизических особенностей восприятия компьютерных геоизображений. В частности, нужно изучить эффекты использования разных масштабов (вертикального и горизонтального), особенностей применения разных цветовых шкал, фонов, равномерности освещения по экрану

и т.п. Важно также оценить минимальную различимость деталей изображения, целесообразность сочетания виртуального изображения и условных знаков, установить правила размещения надписей и виды шрифтов. Нужно также оценить оптимальную скорость анимации, высоту полета над местностью, геометрические искажения, возникающие при разных перспективах.

Таким образом, предстоит решить множество новых проблем, связанных с проектированием, составлением, генерализацией и графическим оформлением виртуальных геоизображений. Для этого потребуются множество экспериментов с применением известных в картографии методик тестирования и совсем новых, имеющих отношение, например, к офтальмологии, психофизике и теории отражения.

Путь внедрения этих новшеств в образование не прост. Нужна новая техника, современное программное обеспечение. Но главное — все это должно быть понятно ученикам. Думается, не стоит и преувеличивать трудности, сегодняшние школьники легко осваивают головоломные компьютерные игры, мало доступные взрослым, получившим образование в докомпьютерную эпоху. Будем помнить, сколь краток в масштабах истории оказался путь от перышка чертежника до курсора, которым манипулирует современный картограф. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 99-05-64866.

Литература

1. Берлянт А.М. Виртуальные геоизображения. М., 2001.
2. Грело Ж.-Ф. // Курьер ЮНЕСКО. 1991, август. С.10—11.
3. Берлянт А.М., Ушакова Л.А. Картографические анимации. М., 2000.
4. Аляутдинов А.Р., Берлянт А.М., Калинин И.В. и др. ГИС «Черное море». М., 1999.
5. Harder C. Serving Maps on the Internet: Geographic Information on the World Wide Web. N.Y., 1999.
6. Virtual Frontier. Promo CD // NorthWood Geosience Ltd., 1999 Klondike Software Inc.
7. Маслов О.Р., Пронина Е.Е. // Прикл. психология. 1998. №6. С.41—49.

Онтогенез, эволюция и гены

Л.И.Корочкин

Венцом общеэволюционной концепции принято считать синтетическую теорию эволюции (СТЭ). В ней была предпринята попытка совместить с дарвиновскими градуализмом и естественным отбором классическую генетику, первоначально довольно резко с ними расходившуюся [1]. К числу создателей СТЭ принадлежат выдающиеся российские ученые С.С.Четвериков и Ф.Г.Добжанский, а «ортодоксальную» сторону представляли такие замечательные биологи, как А.Н.Северцов, И.И.Шмальгаузен, Д.К.Беляев, Л.П.Татаринов, В.А.Ратнер, А.С.Северцов и др.

В то же время в зарубежной и отечественной науке постепенно складывались взгляды, противоречащие синтетической теории эволюции или существенно ее модифицирующие (нередко на уровне философско-биологическом).

В отечественной биологии выделяются три вехи становления недарвиновских взглядов на процессы эволюции [2]. *Первая* — концепция номогенеза Л.С.Берга, сформулированная в 20-е годы. Заключается она в постулировании иных движущих эволюции, нежели тех, что формулировал Дарвин и сторонники СТЭ: вместо монофилии —



Леонид Иванович Корочкин, доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией нейрогенетики и генетики развития Института биологии гена РАН и заведующий лабораторией молекулярной биологии Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН. Область научных интересов — общая генетика, нейрогенетика, генетика развития.

полифилия, вместо градуальности — *скачкообразность*, вместо случайности — *закономерность* [3]. Тогда же в СССР распространялись ламаркистские взгляды, привлекательные для марксистской идеологии и объяснявшие эволюцию наследованием приобретенных признаков, чтобы залатать существовавшие в эволюционной концепции дыры. С развитием генетики, доказавшей несостоятельность этого принципа, такие взгляды постепенно отмирали (в 50–60-е годы их возрождали О.Лепешинская и Т.Лысенко).

В последнее время некоторые западные биологи (главным образом работающие с бактериями и простейшими) пытаются вернуться к гипотезе о наследовании приобретенных признаков. Их представления зиждутся на эпигенетической наследственности у простейших и бактерий (она давно известна и наблюдается при дифференцировке клеток у многоклеточных организмов). В действительности подобные взгляды основаны на непонимании тех понятий, которыми оперируют авторы. *Ведь о наследовании приобретенных*

признаков можно говорить только в том случае, если речь идет об организмах, клетки которых разделены на соматические и половые, и когда признак, приобретенный первыми, неведомым образом передается и закрепляется в геноме вторых. Например, если фанат боди-билдинга с помощью специальных упражнений нарастит свои бицепсы до невиданной величины, то в согласии с неоламаркистскими взглядами геном его половых клеток должен каким-то образом об этом узнать и записать информацию; тогда у потомков данного субъекта подобные мышцы должны появиться без всякой тренировки. Пока существование такого механизма не просматривается. Ссылки на генетический импринтинг не правомочны — с одинаковым успехом обычные мутации можно назвать наследованием приобретенных признаков. Организм ведь их приобрел! Иными словами, хотя бы того или нет новые ламаркисты (скорее всего не хотят!), последовательное проведение в жизнь их точки зрения прямой дорогой ведет к отрицанию основных постулатов современной генетики, т.е. к лысенковщине, совсем другой парадигме, не имеющей каких-либо надежных экспериментальных оснований.

Следующий этап становления недарвиновских взглядов связан с Ю.П.Алтуховым и Н.Н.Воронцовым (60—70-е годы). Первый — на западе ему вторит А.Карсон (1975) — подразделил геном на полиморфный и мономорфный и выдвинул гипотезу, согласно которой полиморфизм и обеспечивающая его часть генома способствуют постоянству вида, расширяют его приспособительные возможности и соответственно ареал распространения. Видообразование же происходит за счет скачкообразного изменения мономорфной части генома [4].

Воронцов сформулировал концепцию мозаичной эволюции и разработал учение о роли

макромутаций и сейсмических факторов в филогенезе [5], а также о быстром видообразовании, обусловленном изменениями в структуре хромосом.

Третий этап (80—90-е годы) знаменуется открытием томского генетика В.Н.Стегния. Он продемонстрировал видоспецифичность точек прикрепления политенных (в виде пучка хромосомных нитей) хромосом насекомых к ядерной мембране и доказал отсутствие полиморфизма по данному признаку [6]. Следовательно, видообразование по постулированному СТЭ принципу постепенного изменения генных частот в данном случае исключается и должно происходить путем макромутации.

Будучи сторонником макромутационной эволюции, я всегда придавал огромное значение единству исторического и индивидуального развития [7, 8], о котором заговорили сразу после создания эволюционной теории. Ведь эволюционные преобразования не могли начинаться иначе, как через изменение программы индивидуального развития.

Первоначально это единство выражали в так называемом биогенетическом законе. Основываясь на работах И.Меккеля и Ч.Дарвина, немецкий биолог Ф.Мюллер еще в 1864 г. указал на тесную связь эмбрионального развития предков с эмбриогенезом потомков. Идею эту преобразовал в биогенетический закон известный дарвинист Э.Геккель, который в 1866 г. сформулировал его следующим образом: «Онтогенез является коротким и быстрым повторением филогенеза, повторением, обусловленным физиологическими функциями наследственности (воспроизведения) и приспособленности (питания)».

Наиболее выдающиеся эмбриологи того времени (А.Келликер, В.Гис, К.Бэр, О.Гертвиг, А.Седжвик) критически восприняли идеи Мюллера—Геккеля, полагая, что новое в онтогенезе возникает не за счет прибавле-

ния новых стадий к онтогенезу предков, а за счет такого изменения хода эмбриогенеза, которое преобразует онтогенез в целом. В 1886 г. В.Клайнбергер предположил, что такие, казалось бы, лишённые функции эмбриональные структуры, как хорда или трубчатая закладка сердца у позвоночных, считавшиеся примерами рекапитуляции (т.е. повторением в эмбриогенезе современных организмов признаков, которые были у их взрослых предков), принимают участие в формировании более поздних структур. Один из основателей американской эмбриологии С.Уитман пророчески писал в 1895 г., что наши глаза похожи на глаза наших предков не вследствие генеалогических связей, а потому, что молекулярные процессы, определяющие их морфогенез, происходили в сходных условиях.

Наконец, давно известно такое явление, как преадаптация. Еще Бэр отмечал, что если бы биогенетический закон был верен, то в эмбриогенезе более низко организованных животных в проходящем состоянии не наблюдались бы образования, присущие лишь вышестоящим формам. Подобных примеров множество. Так, у всех млекопитающих челюсти в самом начале развития так же коротки, как у человека, а мозг птиц в течение первой трети эмбриогенеза гораздо ближе к мозгу млекопитающих, чем во взрослом состоянии. Еще в 1901 г. российский палеонтолог А.П.Павлов показал, что молодые особи некоторых аммонитов обладают признаками, которые исчезают в зрелом возрасте, но обнаруживаются у более высокостоящих форм.

В 20—30-е годы критику биогенетического закона продолжил ученик Седжвика Ф.Гарстанг, утверждавший, что онтогенез не повторяет филогенез, а творит его. Гарстанга поддерживали Л.Берталанфи и Т.Морган, который, в частности, отметил, что в ходе эволюции эмбрио-

нальные стадии могут изменяться и терять сходство с соответствующими стадиями более ранних форм. Следовательно, если теория рекапитуляции — закон, то он имеет так много исключений, что становится бесполезным и часто ошибочным. Понимая всю серьезность этих возражений и стремясь тем не менее спасти биогенетический закон, выдающийся российский биолог А.Н.Северцов выдвинул *теорию филэмбриогенеза*, в соответствии с которой эмбриональные изменения связаны с филогенетическим развитием взрослого организма [9]. Он выделил три типа филэмбриогенеза: надставка конечной стадии (например, развитие челюстей у саргановых рыб); изменение пути развития (развитие чешуи у акуловых рыб и рептилий); изменение первичных зачатков.

Однако пионерные работы Северцова не положили конец критике представлений Геккеля—Мюллера. Негативное отношение к ним продемонстрировали палеонтолог Ш.Депере, зоолог А.А.Любищев, эмбриологи Д.Дьюор, С.Г.Крыжановский, физиолог И.А.Аршавский и др.

Так, Дьюор заметил, что пищеварительный канал эмбриона некоторое время замкнут (т.е. не связан ни со ртом, ни с анальным отверстием), а это вряд ли может иметь смысл на какой-либо предковой стадии. Закладка непалой конечности лошади с самого начала обнаруживает четкую специфичность: утрата в ходе эволюции латеральных пальцев не повторяется в онтогенезе этого животного. Утраченные пальцы редуцированы в самой ранней эмбриональной закладке [10].

О сходных противоречиях говорят и сравнительно-эмбриологические исследования. Становление в онтогенезе плана строения тела различных организмов обусловлено изменениями в экспрессии генов сегментации и гомеозисных генов. Стадия, на которой в эмбрионах одной ветви морфологическое

сходство наивысшее, называется *филотипической*. Стадия, на которой у животных разных ветвей появляются различия в плане строения тела, связанные с работой гомеозисных генов, обозначается как *зоотипическая*.

Например, хордовые проходят стадию развития, на которой имеют сходное устройство нервной трубки, нотохорды и сомитов. Это та филотипическая точка, на которой устанавливается региональная идентичность экспрессии гомеозисных генов. Несмотря на консерватизм филотипической и зоотипической стадий, генетики развития определяют, что начальные стадии эмбриогенеза внутри каждой ветви разнообразны. Например, эмбрионы человека, цыпленка и рыбы данио похожи на филотипической стадии, а на более ранних стадиях развития они морфологически совершенно различны, что находится в противоречии с биогенетическим законом [8].

Отражают ли морфологические и морфогенетические отличия какую-либо соответствующую им молекулярно-генетическую специфичность? *Имеющийся фактический материал позволяет предположить, что молекулярно-генетическая «машина» во всех случаях сходная, а морфологические различия обусловлены сдвигами во временной последовательности одних и тех же молекулярных процессов. Именно они определяют морфогенез разных таксонов.*

Это можно проследить на примере эволюции насекомых. Так, у дрозофилы полноценный набор сегментов тела устанавливается уже к концу стадии бластодермы. Эмбрионов таких насекомых (мух, пчел) называют *зародышами с длинной закладкой*. У кузнечика же синцитий и клеточная бластодерма формируются, как у дрозофилы, но только малая фракция бластодермы (зародышевая закладка) участвует в развитии эмбриона, а остальная ее часть дает

начало эмбриональным мембранам. В этом случае план строения животного в зародышевой закладке не представлен полностью. Из нее возникает только головная область, а другие части развиваются из зоны роста. Такие эмбрионы называют *зародышами с короткой закладкой*. Существует и промежуточный тип развития, когда из зародышевой закладки развиваются голова и грудь, а брюшная область — позднее из зоны роста. Подобные явления нелегко согласовать с биогенетическим законом, а посему понятен скепсис к нему.

Однако в отечественной литературе по эволюционной биологии по-прежнему наблюдается серьезное отношение к биогенетическому закону, а в западной литературе его обычно вообще не упоминают или отрицают. Яркий тому пример — книга Р.Рэффа и Т.Кауфмана [11], которые полагают, что «слабости биогенетического закона заключались в его зависимости от ламарковской теории наследственности и в его непреклонном условии, что новая эволюционная ступень может быть достигнута только как добавление к взрослой стадии непосредственного предка». И еще: «В совокупности менделевская генетика, обособленность клеток зародышевой линии и важность морфологических признаков на всем протяжении развития положили конец теории рекапитуляции...»

Это, конечно, крайняя позиция, но она популярна на Западе. Однако у нас нет оснований сомневаться, что индивидуальное и историческое развитие организмов тесно связаны, поскольку всякое эволюционное преобразование базируется на тех или иных генетически детерминированных сдвигах в онтогенезе. Следовательно, они составляют некое единство, при оценке которого следует исходить из того, что и индивидуальное, и эволюционное развитие основываются на од-

ном и том же материале, а именно на ДНК, и потому им должны быть присущи **ОБЩИЕ** закономерности.

Едва ли заключенная в ДНК наследственная информация развертывается в онто- и филогенезе принципиально иным путем. Тем не менее в настоящее время такое допущение общепринято. Полагают, что филогенез осуществляется на базе нецелесообразных, ненаправленных процессов и основывается на постепенном накоплении в популяции случайных, мелких мутаций. Но, исходя из принципа единства, разумнее и логичнее распространить экспериментально доказанные особенности онтогенеза на обусловленные ими эволюционные события, которые, как правило, не поддаются точной проверке, а потому формулируются как спекулятивные, подтянутые под ту или иную экспериментально непроверяемую концепцию.

При экстраполяции данных генетики развития на филогенетические процессы необходимо опираться на следующие факты.

Во-первых, онтогенез подчинен определенной цели — преобразованию во взрослый организм — и, следовательно, целесообразен. Отсюда следует целесообразность и эволюционного процесса, коль скоро он зависит от того же самого материала — ДНК.

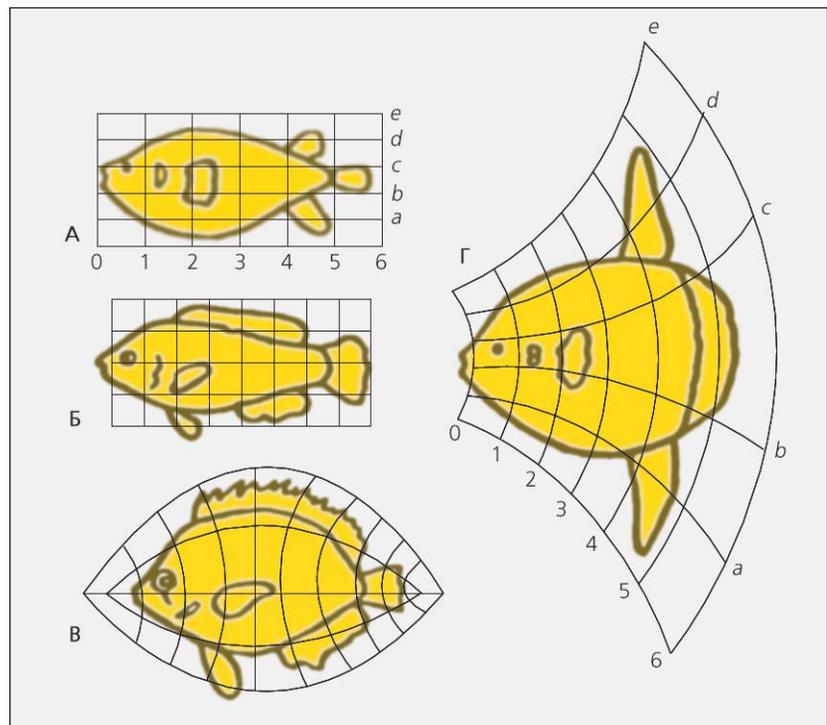
Во-вторых, процесс онтогенеза не случаен, он протекает направленно от стадии к стадии. Всякого рода случайности исключают точную реализацию плана нормального развития. Отчего же эволюция должна основываться на случайных мутациях и идти неведомо куда по «ненаправленному» пути? Посмотрев внимательно на различные эволюционные ряды и увидев в них сходные образования (крылья у птиц, у летучих мышей, насекомых, древних рептилий, подобие крыльев у некоторых рыб), начинаешь подозревать наличие *запро-*

граммированного в самой структуре ДНК филогенеза (как и онтогенеза), словно направленного по некоему «преформированному» каналу, о чем говорил Берг в теории номогенеза.

Наконец, в ходе онтогенеза фазы относительно спокойного развития сменяются так называемыми критическими периодами, которые отличаются морфогенетической активностью ядер и активацией формообразования. Очевидно (и это подтверждается), и в эволюции длительные фазы покоя сменяются взрывами видообразования. Иными словами, она носит не градуалистский, а скачкообразный характер.

Эмбриологи уже давно рассматривают эволюцию не как результат накопления мелких мутаций, постепенно ведущих к формированию нового вида через промежуточные формы, а как следствие внезапных и коренных преобразований в онтогенезе, сразу вызывающих возникновение нового вида. Еще Е. Рабо в 1908 г. допускал, что видообразование сопряжено с мутациями большой амплитуды, проявляющимися на ранних этапах морфогенеза и нарушающими сложную систему онтогенетических корреляций.

Е. Гийено считал, что Ж. Бюффон был близок к истине, когда, описывая нелепое строение и форму клюва, характерные



Трансформации Д'Арси Томпсона. Изменения в направлении роста и клеточной пролиферации (линии координатной сетки) во время развития могут вызвать существенные сдвиги в фенотипе животных (в данном случае рыбок). Макромутации, вызывающие такого рода изменения, способны продуцировать вариации видоспецифических, а то и родоспецифических признаков, посредством, например, сдвигов в скорости митотического цикла А — *Diodon*, Б — *Scaurus*, В — *Pomacanthus*, Г — *Orthogoriscus*. Заменяя координаты рисунка, изображающего морскую рыбу *Scaurus*, на изогнутую ортогональную систему, мы получим изображение не очень отдаленного рода *Pomacanthus*, которое по отношению к *Scaurus* вполне можно назвать счастливым монстром Гольдшмидта.

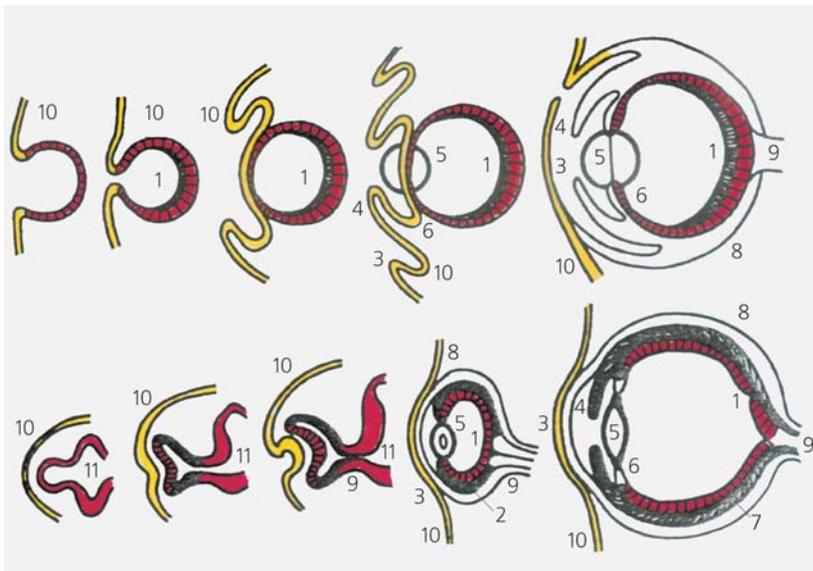


Схема эмбрионального развития и строения глаза головоногих моллюсков (вверху) и позвоночных. 1 — сетчатка, 2 — пигментная оболочка, 3 — роговица, 4 — радужка, 5 — хрусталик, 6 — ресничное (эпителиальное) тело, 7 — сосудистая оболочка, 8 — склера, 9 — зрительный нерв, 10 — покровная эктодерма, 11 — головной мозг. На основе совершенно различных морфогенетических процессов формируются подобные органы. Именно таким путем может быть осуществлено конвергентное развитие признаков у филогенетически неродственных организмов. В основе событий, последовательно строящих данную структуру, лежит, очевидно, генетически запрограммированный план развития. Последовательное разворачивание этих событий регулируется сложным и точно настроенным генетическим механизмом, начало которому может положить одноразовая макромутация Гольдшмидта.

для некоторых видов птиц, причислял их к тератологическим (уродливым) отклонениям, едва совместимым с жизнью. Заметив, что одни и те же уродства у некоторых групп беспозвоночных (например, иглокожих) представляются то как случайные индивидуальные особенности, то как постоянные признаки видов, родов и семейств, он предположил, что некоторые катастрофические уродства есть следствия *макромутаций*, изменяющих ход онтогенеза. Например, неспособность к полету у многих птиц открытых пространств (эпиорниса, страусов, казуаров) возникла как уродство, обрекающее его носителей на единственный образ жизни в ограниченном биотопе.

Усатые киты — настоящий парадокс природы и живая коллекция уродств. Гийено считает, что любое животное можно описать в терминах тератологии. Так, передние лапы крота — пример ахондроплазии (нарушения окостенения длинных костей конечностей), у китов наблюдается двусторонняя эктрометрия (врожденное отсутствие конечностей). У человека анатомические особенности, связанные с вертикальным положением тела, отсутствие хвоста, сплошного волосяного покрова и т.д., можно рассматривать как уродство по сравнению с его предками.

Бельгийский эмбриолог А.Дальк предположил, что с кембрийского времени благо-

даря радикальным трансформациям самых ранних стадий эмбриогенеза установилось дватри десятка основных планов строения (архетипов). Резкие преобразования строения, случись они у взрослого, обернулись бы для него катастрофой и обрели на гибель, а зародыши в силу своей чрезвычайной пластичности и высокой регуляционной способности могли их переносить. Он полагал, что основу эволюции составляет событие (названное им *онтомутацией*), которое проявляется в радикальных и в то же время жизнеспособных трансформациях в цитоплазме яйцеклетки как морфогенетической системе.

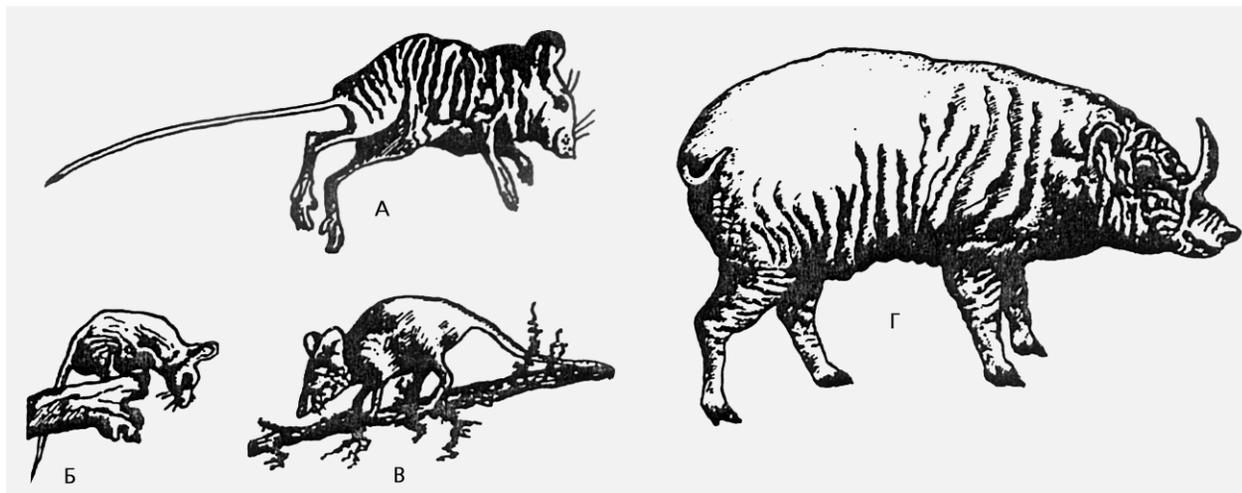
Особенно ясно положения о филогенетической роли резких отклонений эмбрионального развития сформулировал Р.Гольдшмидт в своей концепции *макроэволюции*. Она включает несколько постулатов:

- макроэволюцию нельзя понять на основе гипотезы о накоплении микромутаций, она сопровождается *реорганизацией генома*;

- изменения хромосомной структуры могут вызывать значительный фенотипический эффект независимо от точковых мутаций;

- изменения, основанные на преобразовании систем межклеточных взаимодействий в онтогенезе, могут иметь эволюционное значение — они обуславливают появление так называемых *многообещающих уродов*, отклоняющихся в своем строении от нормы, но способных адаптироваться к определенным условиям среды и дать начало новым таксономическим единицам;

- системная реорганизация онтогенеза реализуется либо через эффекты генов-модификаторов, либо благодаря макромутациям, существенно меняющим работу эндокринных желез, которые продуцируют различные гормоны, влияющие на развитие организма в целом.



Макромутации по Воронцову. А — безволосые мутанты оленьих хомячков (видны сохранившиеся вибриссы и складки ороговевшего эпителия); в норме особи этого вида покрыты обычным меховым покровом. Б — молодой, нормально пигментированный хомячок — гомозигот по мутации *hairless*. В — молодой безволосый хомячок-альбинос (гомозигот по двум рецессивным — *hairless*, *albino* — несцепленным признакам). Г — безволосость как систематический признак у цейлонской бабirusсы.

В качестве примера фенотипических эффектов, вызванных гормонами, Гольдшмидт приводит акромегалию, гигантизм, карликовость. С.Стоккард связывает с функцией эндокринных желез многие расовые признаки у собак, а Д.К.Беляев продемонстрировал существенные сдвиги в функции эндокринных желез при одомашнивании лисиц.

Проведенные еще в начале 30-х годов эксперименты на рыбе из семейства илистых прыгунов *Peryophtbalmus megaris* показали, что трехлетнее непрерывное введение гормона тироксина вызывает значительные морфогенетические перестройки. В этом случае удлиняются грудные плавники, которые приобретают внешнее сходство с конечностями амфибий, а рассеянные в норме эндокринные элементы, продуцирующие тироксин, группируются в более компактные образования, похожие на структуры, свойственные амфибиям. Эти факты позволили Гольдшмидту сделать вывод о значительном фенотипическом эффекте тех изменений генома, которые от-

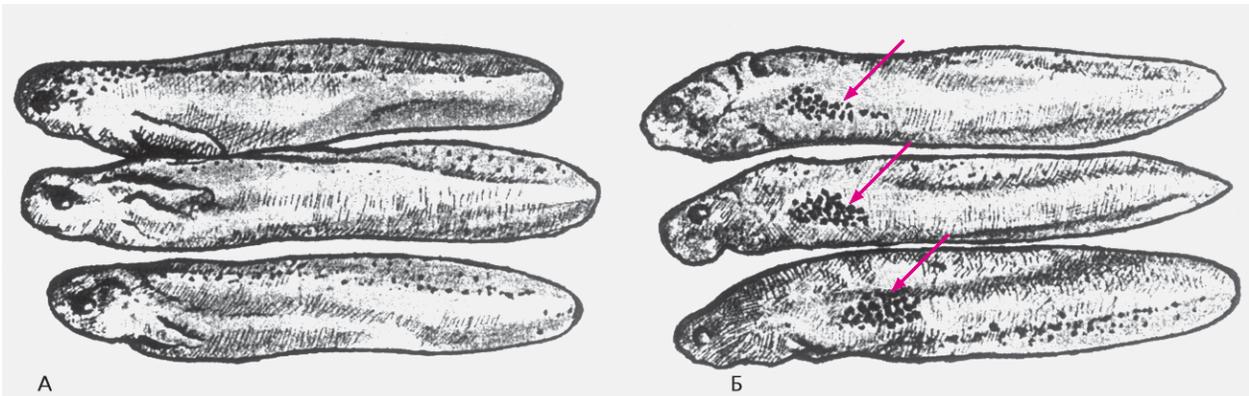
ражаются на механизмах гормонального контроля. Воронцов, разделявший взгляды Гольдшмидта, представил два бесспорных факта *макромутационного* возникновения безволосых видов млекопитающих за счет единственной макромутации типа безволосости — *hairless*. Эти данные противоречат концепции облигатного градуализма [5].

Один из крупнейших палеонтологов современности О.Шиндевольф, также полагая, что онтогенез предваряет филогению, предложил теорию типострофизма. Он игнорировал популяционные процессы, отверг эволюционную роль случайности и признал носителем эволюции отдельную особь. Отсутствие промежуточных форм в палеонтологической летописи объяснял быстрой трансформацией форм, обусловленной резкими изменениями уровня космической и солнечной радиации. Ему же принадлежит крылатая фраза: «Первая птица вылетела из яйца рептилии».

Сходные взгляды под названием *теория прерывистого*

равновесия исповедуют американские палеонтологи Н.Элдридж, С.Стэнли и С.Гоулд. Важное значение в эволюции они придают *педоморфозу*, когда онтогенез укорачивается из-за утраты взрослой стадии и животные способны размножаться на личиночной стадии. Видимо, таким путем возникли некоторые группы хвостатых земноводных (протеи, сиреновые), аппендикулярии, насекомые (тараканосверчки гриллоблаттиды), паукообразные (ряд почвенных клещей) [2].

Каковы же те конкретные процессы, которые могут вызывать преобразование типов онтогенеза? На мой взгляд, это особый вид мутаций, приводящих к изменениям временных параметров созревания взаимодействующих систем в развитии. *В сущности, онтогенез — это цепь эмбриональных индукций, т.е. взаимодействий индуктор—компетентная ткань*. Полноценная эмбриональная индукция зависит от того, насколько точно соответствует в развитии время созревания индуктора и компетентной тка-



Генетическая регуляция пигментогенеза у аксолотлей. А — контрольные эмбрионы аксолотлей белой линии на стадиях 39—40. На их боковой поверхности отсутствуют пигментные клетки. Б — результаты трансплантации презумптивного эпидермиса от эмбрионов белой линии на стадиях 34—35 эмбрионам той же линии на стадиях развития 25—26. Эмбрионы зафиксированы на стадиях 40—41. В месте трансплантата развилась пигментация (показана стрелками).

ни. В нормальных условиях компетентная система способна отвечать формообразованием в момент стимулирующего импульса от индуктора. *Рассогласования во времени созревания индуктора и компетентной ткани нарушают ход соответствующих морфогенетических процессов.* Мутации, вызывающие такие рассогласования, вероятно, распространены довольно широко.

Так, становление пигментации у амфибий определяется взаимодействием эпидермиса (индуктора) и ткани нервного гребня, который служит источником меланоцитов, мигрирующих субэпидермально под влиянием индуктора. Одна из мутаций (*d*) в гомозиготе (*dd*) резко ослабляет окраску аксолотля, так что лишь спина животного слегка окрашена (так называемая белая раса аксолотлей). В нашей лаборатории показано, что отсутствие окраски определяется рассогласованием во времени созревания двух взаимодействующих закладок, составляющих единую корреляционную систему. В серии экспериментов по трансплантации кусочков презумптивного эпидермиса (из которого развиваются те или иные органы) меж-

ду зародышами аксолотлей белой расы мы обнаружили, что при некоторых сочетаниях возраста донора и реципиента в трансплантате развивается пигментация.

Как продемонстрировали Шмальгаузен и Беляев, *типичным случаем такой дезинтеграции взаимодействующих систем служит domestикация.* Например, в окраске домашних животных наблюдается неправильное распределение пятен различного цвета (у коров, собак, кошек, морских свинок), чего не бывает у диких животных (у них либо однотонная окраска, либо закономерное распределение полос или пятен). И хотя генетический контроль однотонной серой окраски достаточно сложен, его механизм легко разрушается. Мутации, проявляющиеся при одомашнивании, действуют на уровне корреляционных связей. При этом существенные связи часто теряются, а взамен появляются совершенно новые. Развитие у кур хохла и перьев на ногах, а также курдюка у овец обусловлены действительно новыми связями. Шмальгаузен рассматривает редукцию органов как распад взаимодействующих систем, а атавизм как ло-

кальную реинтеграцию, в основе которых лежат сдвиги во времени формообразовательных реакций.

Каковы возможные феногенетические основы формообразования, обусловленного изменением временных параметров созревания взаимодействующих тканей? Предположим, имеется два гена *A1* и *A2* (аллельные и неаллельные, для данного случая не принципиально), которые контролируют соответствующие (*a¹* и *a²*) через синтез специфических веществ *a₁* и *a₂*. Очевидно, транскрипция данного локуса еще не означает, что контролируемый им признак будет выражен в фенотипе. Существуют многочисленные генетические элементы, способные подавить проявление признака.

Допустим, что морфогенетическая реакция, контролируемая геном *A2*, не имеет выхода в фенотип вследствие блока на каком-либо уровне регуляции, например торможения синтеза вещества *a₂* или рассогласования времен его синтеза и созревания реагирующей системы. Тогда возможен лишь морфогенетический процесс *a¹*. Если же в одном из генов-модификаторов (*M*) в результате мутации

совпало время синтеза вещества a_2 и созревания реагирующей системы, а следовательно, и фенотипическое выражение признака, контролируемого геном A_2 , осуществляется также событием a_2^1 . Если реакции a_1 и a_2 взаимодействуют, возможны дополнительные, промежуточные формообразовательные процессы. Поскольку на относительную выраженность каждой из этих реакций в фенотипе будут влиять многочисленные гены-модификаторы, количество возникающих при этом фенотипических вариантов почти безгранично. Следует также учитывать, что ген M контролирует синтез того или иного гормона в развивающемся организме, а значит, и общий гормональный баланс. А он играет важную роль в регуляции особенностей, в том числе и временных, фенотипического выражения целого комплекса различных признаков и морфогенетических реакций. Видимо, именно такие преобразования осуществляются в ходе морфогенетического процесса, который нарушается макромутацией.

Что же заставляет гены менять время экспрессии? Возможно, важную роль здесь играют гетерохроматиновые участки хромосом (они могут составлять от 20 до 80% генома). Фенотипический эффект гетерохроматина часто проявляется в раннем эмбриогенезе, например, уменьшается количество клеток на орган или сохраняются фетальные характеристики после рождения. Именно гетерохроматину и в первую очередь входящей в его состав сателлитной ДНК приписывают функцию регулятора скорости клеточного деления и, следовательно, временных параметров индивидуального развития.

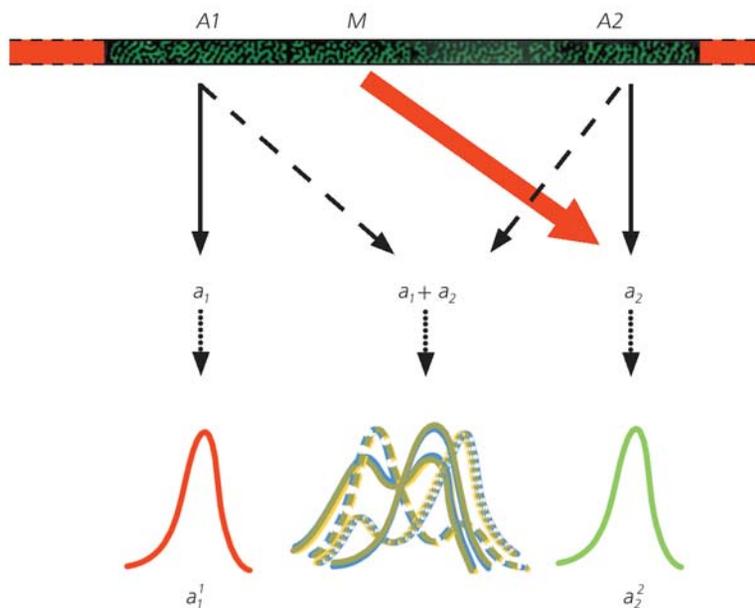
Гетерохроматин и сателлитная ДНК, возможно, влияют на время экспрессии генов двояким способом: они могут ассоциироваться с определенным классом белков, способных менять структуру хроматина или

влиять на трехмерную организацию интерфазного ядра. В примере с нарушением пигментации у аксолотлей времена созревания взаимодействующих тканей обусловлены, вероятно, выпадением кусочка гетерохроматина в области ядрышкового организатора. Так, у *Drosophila littoralis* получены лабораторные линии, отличающиеся наличием (или отсутствием) гетерохроматинового блока в районе G4 хромосомы 2, прилежащем к кластеру генов, которые кодируют изоферменты эстеразы. Оказалось, что гетерохроматиновый блок сдвигает время экспрессии изоферментов эстеразы в различных органах дрозофилы в онтогенезе.

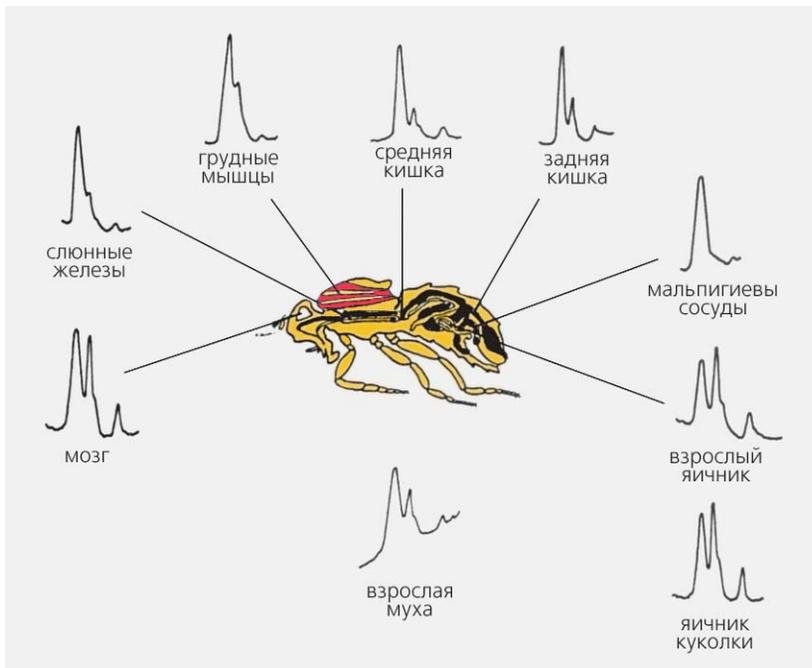
Особенно интересны случаи, когда гетерохроматиновый блок располагается вблизи района G5 хромосомы 2 *D.littoralis*. Там находятся гены, кодирующие три изофермента β -эстеразы, в том

числе эстеразы, расщепляющей ювенильный гормон (ЮГ-эстеразы). В этом случае особи, гомозиготные по гетерохроматиновому блоку, погибают на стадии куколки. Тогда не только задерживается время синтеза изоферментов ЮГ-эстеразы, но и тормозится свойственный нормальному развитию рост их активности. Вероятно, низкая активность ЮГ-эстеразы и вызывает дисбаланс в соотношении гормон линьки экдизон/ювенильный гормон, и сложившийся гормональный статус развивающейся дрозофилы не позволяет завершить метаморфоз.

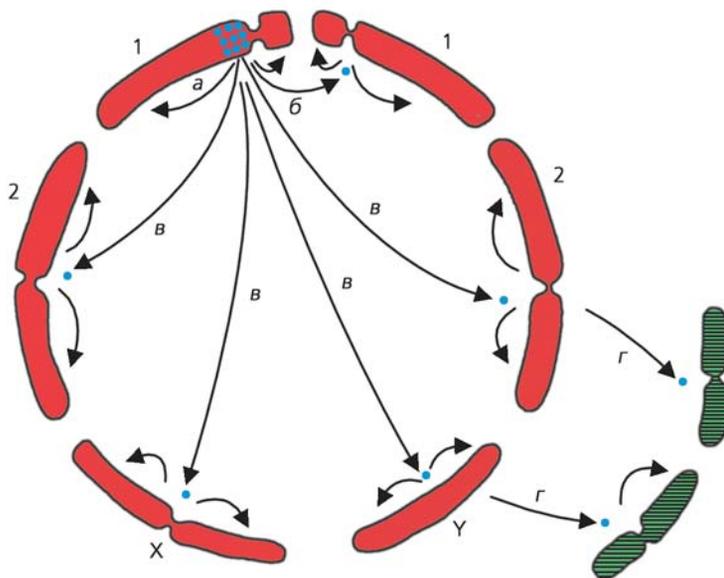
Моя ученица И.Ю.Раушенбах высказала гипотезу (1990), согласно которой этот органо- и тканеспецифичный изофермент вместе с нейроэндокринными органами составляет целостную систему, регулиующую адаптивную реакцию дрозофилы. В результате селекции



Гипотетическая схема макромутации (M), влияющей на морфогенетические процессы. Продукт a_1 кодируется геном A_1 и детерминирует реализацию морфогенетической реакции a_1 , продукт a_2 кодируется геном A_2 и принимает участие только под влиянием гена-модификатора (M). В этом случае он детерминирует реализацию морфогенетической реакции a_2^1 . Взаимодействие продуктов обеспечивает вариации в морфогенетических событиях, контролируемых каждым из них (Корочкин, 1999).



Тканеспецифическое распределение фракций сателлитной ДНК в различных органах *Drosophila virilis* (Endow, Gall, 1975).



Предложенная Довером схема внутригеномной миграции последовательности ДНК с исходной хромосомы 1 на гомологичные и негомологичные хромосомы (2, X, Y). Буквы (а, б, в, г) указывают пути миграции подвижных элементов. Очаг размножения подвижных элементов хромосом обозначен синими точками. Дрозофила, у которой подвижных элементов много, способна заражать другие особи (на рисунке справа).

отбираются комплексы генов-модификаторов, контролирующей экспрессию ЮГ-эстеразы в критические моменты развития особей, способствуя сохранению или уничтожению сложившихся генотипов в определенных условиях среды. В соответствии с этими представлениями колебания активности ЮГ-эстеразы есть часть реакции системы, ответственной за регуляцию онтогенеза. Внезапные и глубокие наследственные перестройки в работе таких систем могут произвести на свет «многообещающих уродов» с эволюционным будущим. Таким образом, перераспределение гетерохроматина вызывает функциональную реорганизацию генома в целом, порождая затрагивающую лишь отдельные признаки, а порою достаточно глубоко преобразующую фенотипическое становление систем признаков.

В связи с этим особенно интересна организация кариотипа у разных видов *Drosophila* группы *virilis*, отличающихся по количеству гетерохроматина в геноме и отчасти по его распределению. Эта группа включает по крайней мере 12 видов, объединяемых по степени морфологического, биохимического сходства, а также скрещиваемости между собой. Различные группы четко отличаются по количеству сателлитной ДНК, собранной преимущественно в гетерохроматиновых районах хромосом.

Так, у *D. virilis* количество сателлитной ДНК составляет почти 50% генома. В группе *texana* (*D. texana*, *D. americana*, *D. novamexicana*, *D. lummei*) количество гетерохроматина значительно меньше, чем у *D. virilis*, а в группах *littoralis* и *montana* оно снижено еще больше.

Дж. Голл с сотрудниками обнаружили, что есть три главных типа сателлитной ДНК у *D. virilis*: 25% генома составляет последовательность нуклеотидов 5'АСАААСТ, 8% генома — 5'АТАААСТ и 8% — 5'АСАААТТ. Известна тканевая специфичность

в распределении и дифференциальной репликации разных фракций сателлитной ДНК. Ее небольшие количества в эухроматиновых районах по-иному распределены у разных видов *Drosophila* группы *virilis*. Стегний показал, что количество сателлитной ДНК определяет видоспецифическую трехмерную организацию хроматина ядра, а также точки прикрепления хромосом к ядерному матриксу.

Что же вызывает перераспределение гетерохроматина в ходе эволюции? Мы предположили, что за такие события ответственны подвижные генетические элементы, как бы «растаскивающие» кусочки гетерохроматиновой ДНК по разным ячейкам генома и вызывающие гольдшмидтовские мутации. Подвижные генетические элементы могут по крайней мере двояким способом влиять на реализацию наследственной информации в развитии. Во-первых, внедряясь в область структурного гена, они изменяют скорость транскрипции и соответственно концент-

рацию кодируемого им белка в несколько раз. Так, в лаборатории американского генетика К.Лаури показано, что внедрение подвижного генетического элемента в зону гена алкогольдегидрогеназы снижает активность фермента примерно в четыре раза. Если в подобной ситуации окажется ген, кодирующий фактор, который формирует полярный градиент, это скажется на развитии эмбриона. Во-вторых, подвижные генетические элементы способны менять время экспрессии генов, что отражается на взаимодействии тканей в развитии и соответственно на морфогенетических процессах.

Иными словами, происходящие в определенных точках генома элиминации, вставки и перераспределения блоков сателлитной ДНК, обусловленные их «захватом» подвижными генетическими элементами, могут быть механизмом реализации направленности эволюционного процесса (места этих вставок расположены закономерно, а не разбросаны как по-

пало по геному). Такого рода перемещения, видимо, способствуют «взрывам» инверсий и транслокаций, как правило, сопровождающих видообразование. В работах М.Б.Евгеньева четко продемонстрирована корреляция в расположении сателлитной ДНК и подвижных генетических элементов у различных видов *Drosophila* группы *virilis*, что косвенно подтверждает эту гипотезу.

Как показал английский генетик Г.Довер, массовые перемещения генетических элементов, связанные с резким увеличением их количества на геноме, могут быть молекулярно-генетическим механизмом скачкообразного видообразования. Большое значение в происхождении видообразовательных «взрывов» придает подвижным генетическим элементам и современный палеонтолог Дж.Валентайн (1975). И все же основанные на данных генетики развития эволюционные представления пока лишь гипотезы, и решающее слово еще остается за палеонтологами. ■

Литература

1. Грант В. Эволюция организмов. М., 1991.
2. Назаров В.И. Учение о макроэволюции. М., 1991.
3. Берг Л.С. Труды по теории эволюции. Л., 1977.
4. Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях. М., 1983.
5. Воронцов Н.Н. Развитие эволюционных идей в биологии. М., 1999.
6. Стегний В.Н. Архитектоника генома. Системные мутации и эволюция. Новосибирск, 1991.
7. Korochkin L. // *Evolut. Biol.* 1993. V.7. P.153—172.
8. Корочкин Л.И. Введение в генетику развития. М., 1999.
9. Северцов А.Н. Морфологические направления эволюционного процесса. М., 1967.
10. Dewar D. Difficulties of the evolution theory. L., 1931.
11. Рэфф Р., Кауфман Т. Эмбрионы, гены, эволюция. М. 1986.

Космологический «бариометр» — гелий-3

Научные сообщения

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук
Москва

Средняя плотность вещества Вселенной — один из важнейших параметров, определяющих ее прошлую и будущую эволюцию (например, будет ли Вселенная расширяться вечно или ее расширение когда-то остановится и сменится сжатием). Разумеется, в динамике нашего мира играет роль не только обычное — барионное — вещество, но и другие, экзотические и пока не исследованные, его формы: темное вещество, проявляющее себя как скрытая масса галактик, а также энергия вакуума, создающая эффект «антигравитации», которая в нашу эпоху ускоряет расширение Вселенной. До сих пор наиболее изученным остается обычное барионное вещество, состоящее из тяжелых ядерных частиц — протонов и нейтронов (и разумеется, электронов, вклад которых в массу обычного вещества весьма мал). Барионное вещество объединено в звезды с планетами, в галактики и их системы. Эти объекты хорошо известны астрономам и довольно надежно пересчитаны. Но часть барионного вещества может быть «упакована» в труднонаблюдаемые объекты — несветящиеся звезды малой массы, плотные межзвездные облака, — которые недо-

ступны астрономическим приборам. Можно ли определить среднюю плотность барионного вещества Вселенной без детальной инвентаризации всевозможных объектов? В принципе такой метод существует.

В течение первых нескольких минут после рождения Вселенной, когда ее вещество было очень плотным, горячим и однородным, в нем происходили термоядерные реакции, определившие исходный состав вещества. Кроме доминирующего по массе водорода (${}^1\text{H}$) образовались также дейтерий (${}^2\text{H}$), два изотопа гелия (${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$) и литий (${}^7\text{Li}$). Их относительное количество зависит от барионной плотности Вселенной, поэтому каждый из указанных элементов мог бы служить своеобразным космологическим бариометром, если бы не одна проблема: за прошедшие миллиарды лет состав Вселенной непрерывно изменялся усилиями звезд, этих «маленьких термоядерных фабрик». Даже зарядная звезда небольшой массы, подобная Солнцу, обильно производит и быстро сжигает в своих недрах изотопы легких элементов — дейтерий, литий, гелий-3. Поэтому вещество звезд — плохой индикатор химического состава юной Вселенной. Астрономы мечтают найти «кусочек» древнего замороженного вещества, на-

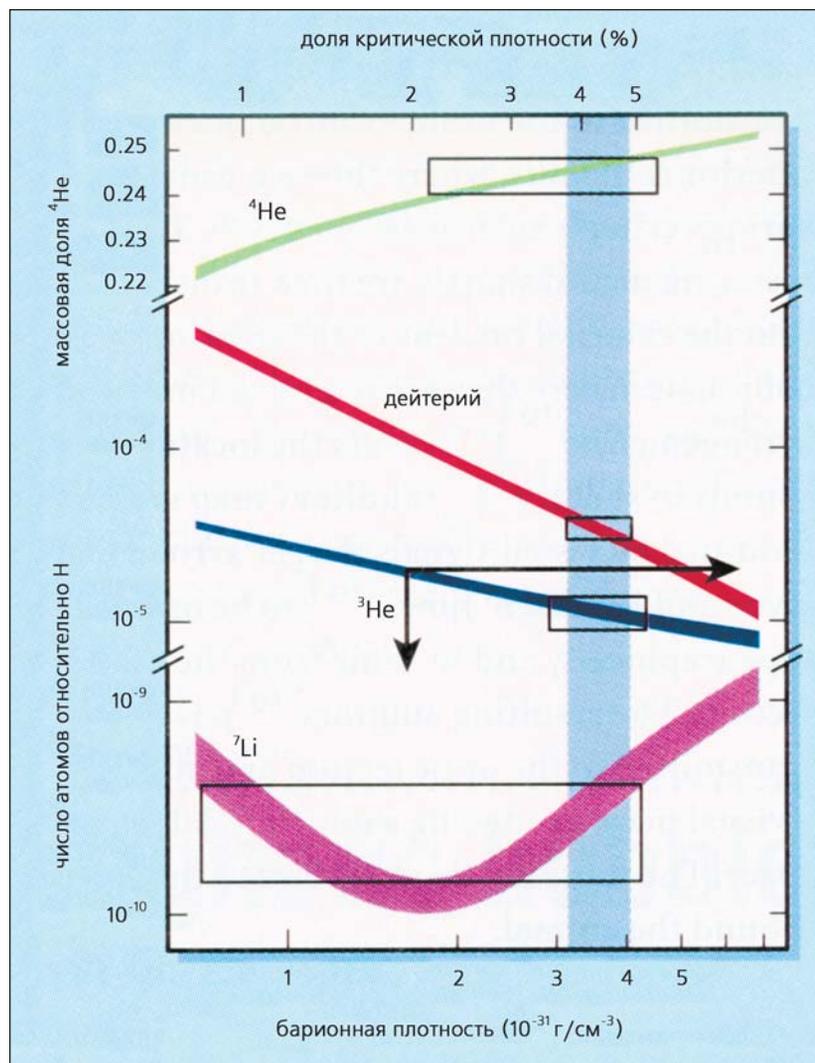
пример одинокую планету-гигант вроде Юпитера, но родившуюся до эпохи активного формирования звезд. Пока это лишь мечта.

Наиболее точно измерить химический и изотопный состав сейчас удастся у облаков межзвездного газа: их разреженное вещество, нагретое лучами окружающих звезд, ярко светится и наблюдается на больших расстояниях. Спектр этого излучения — как в оптическом, так и в радиодиапазоне — позволяет детально анализировать состав вещества. Единственная проблема, до сих пор угнетающая астрономов: в какой степени межзвездное вещество «заражено» выбросами звезд? Уже давно нет сомнения, что взрывы сверхновых обогащают межзвездную среду тяжелыми элементами. Но по поводу легких элементов, способных служить космологическими бариометрами, сомнения до сих пор были. Особый интерес представляют самые чувствительные бариометры — дейтерий и гелий-3, причем более интересен инертный гелий, поскольку дейтерий легко входит в химические соединения и его полное количество труднее оценить.

Согласно классической теории эволюции звезд, развитой в 1970-е годы, маломассивные звезды, такие как Солнце, долж-

ны производить гелий-3 в небольшом количестве. Вопрос в том, насколько интенсивно в конце своей эволюции они выбрасывают его в межзвездное пространство. Несколько лет назад наблюдение одной из умирающих звезд — планетарной туманности Призрак Юпитера (NGC 3242) — показало, что выброшенное ею вещество заметно обогащено изотопом ^3He : его содержание в десятки раз больше, чем в окружающей межзвездной среде. Астрономы привыкли: большинство маломассивных звезд проходит через стадию планетарной туманности, а значит, они должны были сильно «загрязнить» межзвездный газ гелием-3 и безнадежно испортить основанный на этом изотопе космологический барометр.

Американские радиоастрономы Т.М.Бания и др. [1] решили это проверить. Наблюдая линию излучения изотопа ^3He (длина волны 3.46 см) в направлении на близкие и далекие межзвездные облака, они определили, как изменяется содержание этого изотопа с удалением от центра Галактики. Поскольку звезды значительно чаще рождаются и умирают в центральных областях Галактики, то и содержание ^3He , если он был выброшен звездами, также должно быть повышено вблизи ее центра по сравнению с периферией. Измерив (за 20 лет напряженной работы) содержание ^3He в двух десятках облаков, разбросанных по всему галактическому диску, радиоастрономы с удивлением обнаружили, что везде количество атомов легкого гелия по отношению к водороду составляет $^3\text{He}/\text{H} = (1.1 \pm 0.2) \cdot 10^{-5}$ и не изменяется с удалением от центра Галактики. Более того, не изменяется это отношение и со временем: в древнем веществе Солнечной системы гелия-3 столько же, сколько и в современном межзвездном газе. А как же планетарные туманности? Разве они не обогащают межзвездную среду легким гелием?



Зависимость содержания элементов, синтезированных в первые минуты расширения Вселенной, от современной барионной плотности (показана цветными линиями). Прямоугольниками обозначены наблюдательные оценки первичного содержания ^4He (наблюдения галактических областей III), дейтерия (по спектрам поглощения далеких квазаров) и ^7Li (на поверхности самых старых звезд Галактики). Для ^3He горизонтальной стрелкой указан верхний предел содержания, а вертикальной стрелкой — выведенный из него нижний предел барионной плотности (для постоянной Хаббла 65 км/с/Мпк). Прямоугольник на линии ^3He показывает разброс наблюдательных значений для III — области S209. Вертикальная широкая полоса — диапазон барионной плотности, удовлетворяющий всем наблюдательным данным.

Решение «проблемы гелия-3» некоторые астрономы видят в особенностях перемешивания вещества в недрах звезд [2]. Не исключено, что синтезируемый в звезде гелий-3 в основном в ней же и сгорает. Это возможно в том случае, когда в не-

драх звезды происходит интенсивное перемешивание вещества, переносящее «легко воспламеняемый» гелий-3 из внешних, прохладных, во внутренние, более горячие слои звезды.

Обнаруженное в атмосферах большинства старых маломас-

сивных звезд (красных гигантов) аномально низкое отношение изотопов углерода $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ указывает, что 90% таких звезд действительно вращаются настолько быстро, что дифференциальное вращение вместе с конвекцией активно перемешивают ее глубинное вещество. Около 10% звезд вращаются недостаточно быстро для того, чтобы произошло перемешивание, и упомянутая выше планетарная туманность NGC 3242 как раз может быть из их числа. В целях проверки этой гипотезы планируется массовое измерение изотопного состава планетарных туманностей.

Объединив все полученные на сегодня результаты измерения барионной плотности Вселенной (Ω_b), Бания и др. установили: данные всех экспериментов лежат в диапазоне $0.007 < \Omega_b h^2 < 0.022$,

причем наиболее надежны данные $\Omega_b h^2 = 0.02$. Напомним, что Ω — это плотность в единицах критического значения: при $\Omega < 1$ расширение Вселенной не остановится никогда, при $\Omega > 1$ оно остановится и сменится сжатием. Поскольку критическое значение плотности зависит от скорости расширения Вселенной, в приведенное выше выражение входит относительное значение постоянной Хаббла: $h = H_0/(100 \text{ км/с/Мпк})$. Приняв наиболее точное современное значение $h = 0.72 \pm 0.08$, исследователи получили окончательную оценку барионной плотности: $\Omega_b = 0.04$. Таким образом, все обычное космическое вещество дает лишь 4% плотности, необходимой для остановки расширения Вселенной.

Если бы состав Вселенной ограничивался только обычным

веществом, ее судьба представлялась бы совершенно ясной — вечное расширение. Но наблюдения за движением звезд и галактик с полной очевидностью указывают на присутствие в галактиках и в их скоплениях невидимого, темного вещества, средняя плотность которого составляет $\Omega_D = 0.3$ (индекс D — от англ. dark — темный). Этого вещества на порядок больше, чем обычного, и природа его до сих пор не ясна. Еще сложнее обстоит дело с энергией вакуума, которая по эффективной плотности, возможно, вдвое превосходит темную материю и барионное вещество, вместе взятые [3]. Наличие таких свойств у вакуума может драматическим образом изменить как наши представления о рождении Вселенной, так и прогноз ее будущего. ■

Литература

1. Bania T.M., Rood R.T., Balse D.S. // Nature. 2002. V.415. №6867. P.54—57.
2. Charbonnel C. // Nature. 2002. V.415. №6867. P.27.
3. Чернин А.Д. // Успехи физ. наук. 2001. Т.171. №11. С.1153—1175.

Океанография

Глубинные воды Средиземного моря теплеют

Европейская глубоководная станция «Geostar» недавно завершила свой первый рейс в Средиземном море. Этот автономный аппарат на глубине 2000 м собирал информацию о физико-химическом состоянии вод и донного грунта, фиксировал наличие живых организмов, измерял параметры магнитных полей и растворенных газов. Главный вывод таков: температура абиссальных

вод возрастает на 0.001 — 0.002°C ежегодно; казалось бы, столь малым повышением можно пренебречь, но при идущем сейчас глобальном потеплении его нельзя не учитывать.

Данные «Geostar» подтвердили факт, ставший очевидным лишь в последнее время: уже 40 лет температура глубинных вод Средиземного моря растет. Некоторые специалисты связывают это с потеплением климата материков. Иную гипотезу выдвинул К.Милло (С. Millot; Лаборатория океанографии и биогеохимии Национального центра научных исследований в Тулоне, Франция): плотины,

построенные на Дунае и Ниле около 40 лет назад, ограничили поступление в Средиземное море пресных вод, что привело к повышению его солености. В процессе постоянной циркуляции абиссальные воды постепенно поднимаются к поверхности; из-за испарения и зимнего охлаждения их плотность увеличивается, и они снова опускаются. Однако для погружения более соленых и тяжелых вод требуется меньшее охлаждение — в результате в глубину уходят более теплые воды.

Science et Vie. 2001. №1010. P.30 (Франция).

Каменный исполин Охотоморья

С.Д.Шлотгауэр,

доктор биологических наук

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН

Хабаровск

Хребет Джугджур стал известен русским более 360 лет назад, когда отряд казаков из Якутского острога под руководством Ю.И.Москвитина, одолев стремительные реки, ступил на берег Ламского, ныне Охотского, моря. Было чему дивиться первопроходцам: густые туманы, пепельно-серые, выбеленные скелеты деревьев, умерших от дыхания сурового моря, миллионы чаек, неисчислимые стада лососей, преодолевающих порожистые реки, израненные, в морщинах и трещинах, прибрежные разноцветные скалы — кекуры, первые принимающие на себя всю сатанинскую мощь морских шквалов. За этими «сторожевыми» земной тверди открывалось горное сооружение, которое кочевники называли Джугджур — Великая выпуклость.

С этого времени хребет становится ареной освоения, которое медленно, но неуклонно нарастает. В 1681 г. здесь создается Удское зимовье, а затем и одноименный острог, позднее — селения на Охотском побережье, в том числе порт Аян — одна из важнейших баз Русско-Американской компании. Вместе с промышленными людьми, судостроителями, мореходами в этот край попадают ученые, например, экспедиция С.И.Крашенинникова (проездом на Камчатку), затем А.Ф.Миддендорф, создавший базу в Удском остроге.



Схема расположения участков Джугджурского государственного природного заповедника (показаны цветом).

Джугджур представляет собой систему хребтов северо-восточного простирания. Он вытянут вдоль Охотоморского побережья более чем на 2000 км, возвышаясь почти на тысячу метров над окружающими низкогорьями и четко разграничивая таежные биомы различного происхождения: континентальный ангаридский и океанический берингийский. У самых высот этого исполина рождаются крупные реки. Одни — Учур, Мая — несут свои воды Лене, а та отдает их Северному Ледовитому океану, другие — Улья, Алдома, Лантарь — Охотскому морю, дитищу Тихого океана.

Для этих гор характерно сочетание водоразделов, ограниченных крутыми четырехсотметровыми обрывами. Древние ледники оставили после себя глубокие, как колодцы, кары и цирки с почти отвесными склонами и плоскими днищами. К подножию они вынесли морены — нагромождения глыб в виде гряд и холмов, понижения между которыми заняты озерами.

Примечательно, что в этом мире скал, каменных развалов и осыпей можно всегда найти влагу: сказывается близость величайшего на Земле океана. Вода струится между глыбами, блестит у снежников, сохраняющихся не-



Аллювиальные наносы р.Алдома в виде кос далеко вдаются в бухту. Джугджурский заповедник.

Фото Б.А.Воронова



Рукотворный ландшафт.

Фото Б.А.Воронова

редко до конца лета, в блюдцах озерков гольцовых террас и ледниковых озерах — чашах. Во время муссонных дождей струйки соединяются в ручьи, на глазах превращаясь в непроходимые потоки. Уровень воды в них за один ливень может подняться до 3—5 м. Такой поток сдвигает огромные валуны. Во время затяжных дождей, находясь в верховьях горной долины, чувствуешь себя в окружении мощного оркестра: отовсюду идет звон и грохот воды, мчащейся по склону и струящейся под каменными кумрумниками, глыбовыми осыпями и в каменных руслах.

Среди геологических пород территории — гнейсы, кристаллические сланцы с линзами и прослоями мраморов и кальцефилов, мезозойские метаморфизованные осадки и эффузивы, распространены разновозрастные интрузии гранита и анортозита. Последний — уникальная порода, широко распространенная на Луне

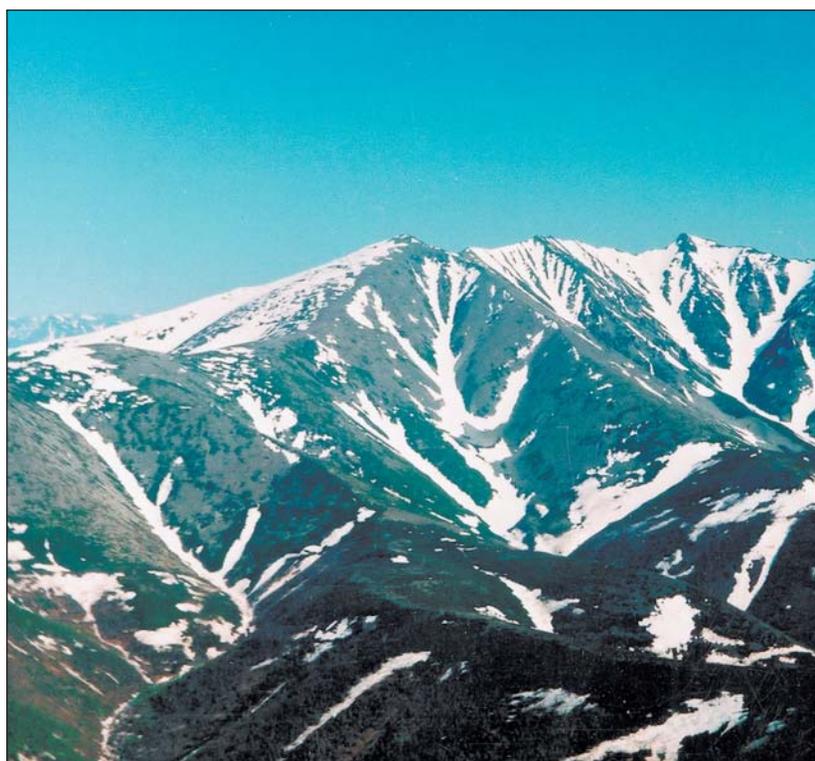


Прибрежные скалы на побережье Охотского моря.

Фото А.Л.Антонова

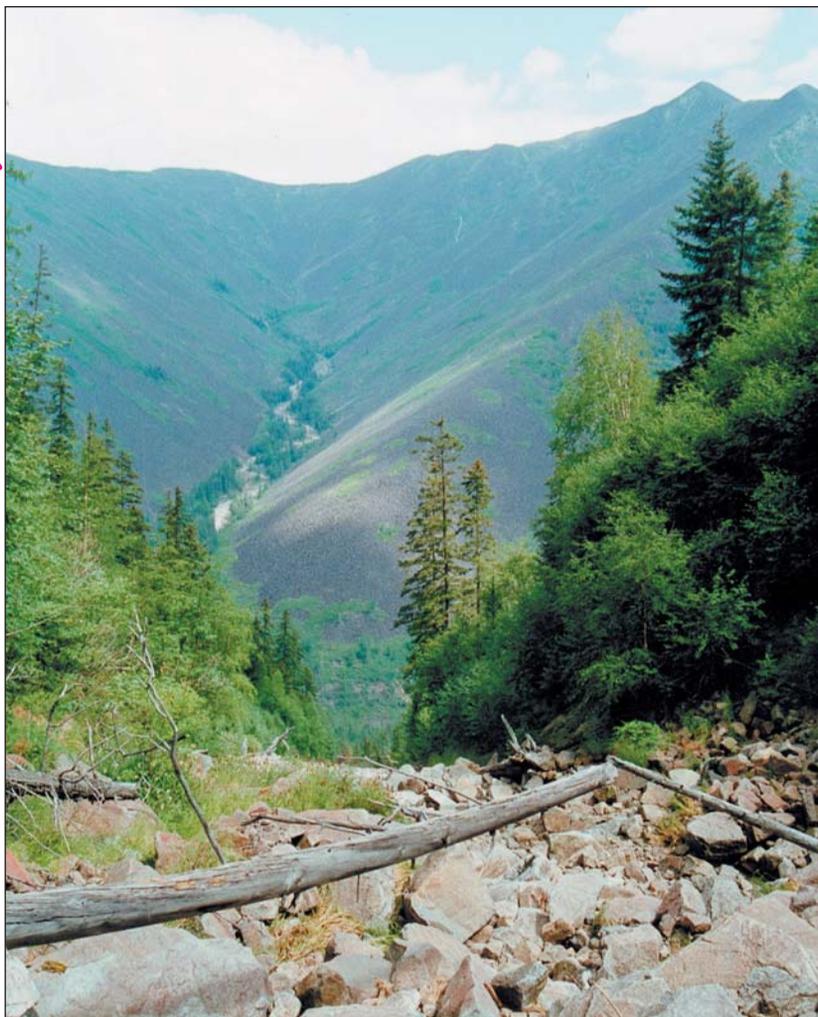
и редкая на нашей планете. Кроме Джугджура найдена в Северной Америке, на п-ове Лабрадор, на Украине. Кристаллы этой лунной породы даже в пасмурный день так высвечиваются синими и зелеными огнями на стенах ущелий, что ощущаешь себя находящимся в гигантской драгоценной шкатулке.

Открытые всем странам света вершины и скалистые бока исполина обдуваются ветрами круглый год, особенно сильны и жестоки эти ветра зимой, поэтому на большей части хребта царит горная тундра. Широкое ее распространение здесь, как, впрочем, везде в горах Сибири и Дальнего Востока, определяется высокой влажностью воздуха, сопряженной с умеренными температурами вегетационного периода и крайне низкими зимой при незначительной мощности снежного покрова. Эти факторы определяют широкое развитие крупнообломочного и глыбового субстратов в гор-



Первый снег на Джугджуре.

Фото А.Л.Антонова



Лесная растительность проникает в подгольцовый пояс по глубоким распадам ключей.

Фото В.И.Готванского

но-тундровом, или гольцовом поясе.

Горно-тундровый, или гольцовый пояс, объединяет растительные сообщества, находящиеся на 900 м над ур.м. и выше. Каменистые тундры, венчающие на Джугджуре царство растительности, обитаемы. На россыпях и отдельных глыбах формируются корочки накипных, а между глыбами — кустистых лишайников. Развитие на значительной площади этих, а также листостебельных, лишайников — самое яркое отличие дальневосточных и сибирских высокогорий от горных систем альпийского типа.

Причины, определившие столь широкое развитие этих растений на восточной окраине Азиатского материка, — малоснежность, морозные зимы, интенсивное промерзание почв и субстрата, сильное летнее иссушение грунта и т.п.

Кустарничковые горные тундры поражают своеобразием видового состава. Здесь и дриада аянская, и кассиопея Редовского, и шикша сибирская, и филлодоце голубая. Кроме них в строении сообществ принимают участие различные рододендроны: Редовского, камчатский, лапландский и Адамса.

Наибольшего своеобразия на Джугджуре достигают низкотравные сообщества приснежных лужаек. Они встречаются вблизи тыловых швов нагорных террас, в углублениях, на склонах южной или юго-восточной экспозиции и связаны со снежниками.

Зеленые ковры мхов усеяны золотистыми цветками двухцветковой фиалки, лютиков — серножелтого и пигмейного. Необычно изящные цветки филлодоце вместе с молочно-белыми звездочками дриады царят повсюду, и трудно сквозь это бело-розовое кружево увидеть еще более крошечные стебельки горных трав — камнеломки и мытников.

Еще неделю назад на месте цветения этих растений лежал снежник, но постепенно его края стаивали, все больше и больше обнажая склон, куртинки зеленых мхов и редкие кустики ивы Турчанинова и березки тощей.

Столь быстрая смена событий в приснежных сообществах определяется тем, что у большинства обитателей с осени происходит подготовка зимующих почек. Сразу после цветения внутри почек можно обнаружить не только зачатки будущих листьев, но и цветочки — бутоны. Поэтому, как только сойдет снег, с появлением тепла эти растения начнут развиваться с поразительной быстротой.

Подгольцовый пояс простирается выше границы лесной растительности, включая стелющиеся леса из ольховника, кедрового стланика и заходящих из лесного пояса рощиц лиственницы и ели. На склонах северной и северо-западной экспозиции, подверженных в зимнее время влиянию арктических ветров, а также на восточных, испытывающих охлаждающее влияние Охотского моря, подгольцовый пояс имеет наибольшее простираение.

В лесном (горно-таежном) поясе безраздельно господствует лиственница. Пологие склоны, плоские и низкие водораздельные плато одеты ерниковыми лиственничниками.

В их подлеске обычны таежные и гипоарктические виды: березка раскидистая, багульник, осоки — черноплодная и рыхлая.

На сухих выпуклых участках склонов, где условия дренажа значительно лучше, растут лишайниковые лиственничники с подлеском из кедрового стланика.

Вдоль тальвегов ручьев и горных рек тянутся узкие полосы высокоствольных тополево-чозениевых, лиственничных и еловых лесов; в стороне от русла, на покрытых глыбовым делювием склонах долин, развиты брусничные лиственничники с редкими куртинами кедрового стланика.

В верховьях долин и распадаках обычны ельники. Они заселяют хорошо дренированные и постоянно увлажненные участки склонов, защищенные от прямого воздействия холодных северных и северо-западных ветров. Как правило, еловые сообщества нередко окаймлены небольшими рощицами березы шерстистой, ближе к побережью ее заменяет океанический вид — береза Эрмана.

Богатства гор не могли не вызвать возрождение интереса к ним, особенно на фоне в значительной степени исчерпанного ресурсного потенциала равнинных территорий. Однако «движение в горы» на Дальнем Востоке — создание первых горнопромышленных предприятий — повлекло за собой необратимые изменения в легко уязвимых природных комплексах.

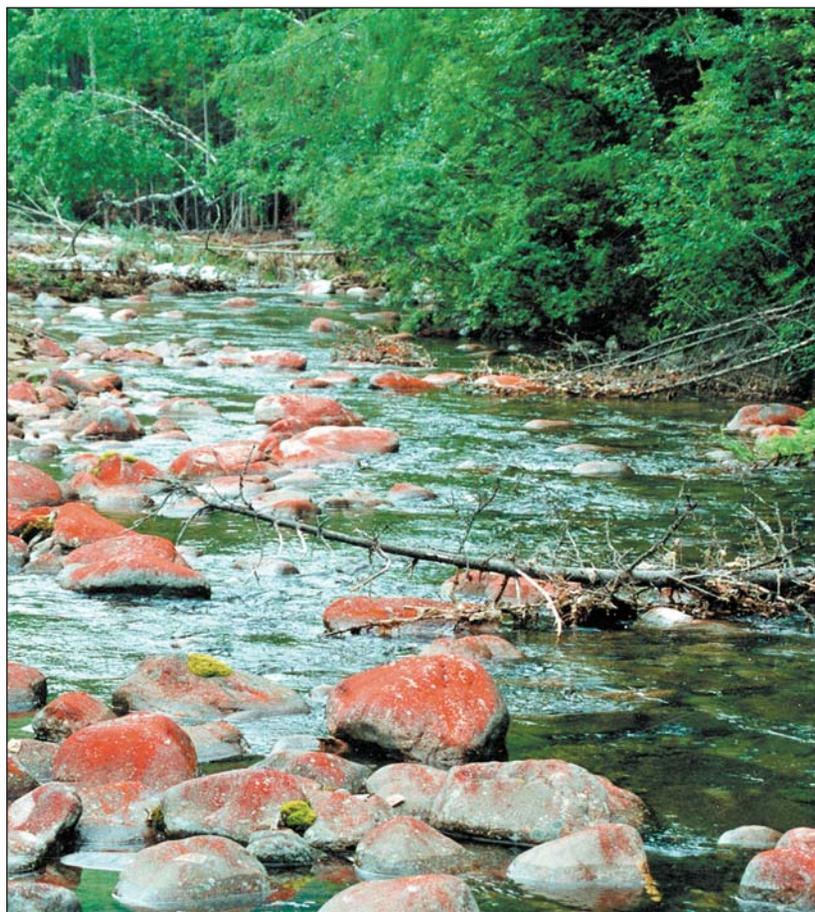
При различных видах деятельности, связанных со строительством (прокладке систем коммуникаций, трасс, вскрышных работах), в первую очередь пострадал растительный покров, затем началась активизация склоновых процессов, нарушился поверхностный и внутригрунтовой сток. Пожары еще более усилили негативные последствия хозяйственной деятельности в горах, так как их действие, в отличие от собственно горных разработок, не локализовано.

Страдают территории, в сотни раз превышающие район разработок. Все это уже в 80-х годах сказалось на состоянии и запасах ценных нерестовых видов рыб, численности дикуши — «краснокнижного» обитателя тайги, а также снежного барана.

Увеличение темпов и объемов промышленного природопользования обусловило создание в 1990 г. первого заповедника в горах Охотии. Его функция напрямую была связана с охраной высокогорий для обеспечения экологической стабильности побережья. Поскольку хребет Джугджур выполняет важнейшую средообразующую и в особенности водорегулирующую роль, с состоянием его высокогорий тесно связана чистота вод нерестовых рек, впадающих в Охотское море.

Научное обоснование и характеристика биогеоценозов территории, предлагаемой для природного охраняемого учреждения, были выполнены еще раньше [1]. В начале 90-х годов для заповедника выбрали компактную территорию центральной части хребтов Джугджур и Прибрежный в пределах бассейнов рек Лантарь, Алдома, Улкан, Челасин и верхней части бассейна р.Северный Уй, общей площадью свыше 1 млн га. Достоинство этого проекта заключалось в том, что авторы рассматривали биогеоценозы суши и водной акватории как функционально взаимосвязанные между собой системы.

Однако различные ведомства и администрация района категорически возражали против отво-



Долины горных рек забиты валунами, красный налет на них — водоросли.

Фото В.И.Готванского

да под заповедник морского побережья Аяна и его окрестностей, бассейнов рек Челасин и Северный Уй. Мотивировкой стали интересы оленеводческого совхоза «Нельканский», кочевья оленьих стад которого проходили по западной половине будущего заповедника. В результате длительных переговоров и согласований, новый проект включил два участка — северный, по бассейнам рек Улкан, и Большая и Малая Комья, и южный, в бассейне р.Лантарь. Общая площадь составила 806 256 га. Утрата аянской территории вызывала сожаление, так как в этом районе четко выражена структура высотной поясности джугджурского типа Северной Азии. Кроме того, здесь находится локальный очаг аянского эндемизма.

Выделенная под заповедник территория на протяжении длительного времени входила в сферу интересов различных отраслей хозяйств. Наиболее активно в последние десятилетия ее использовали для добычи полезных ископаемых, для охотничьего хозяйства, рыболовства, лесодобычи, поддержания и эксплуатации телефонной и телеграфной линий связи. Каждая из этих сфер деятельности, обладая специфическими приемами и характером прямого воздействия на те или иные объекты, вызывала целый спектр побочных явлений и опосредованных воздействий на природу, сумма которых привела к деформации чрезвычайно ранимых ландшафтов. Были существенно подорваны состояние и естественная продуктивность природных комплексов. В значительной степени разрушены коренные лесные формации, которые заменены сейчас в основном производными лесами.

Интенсивная антропогенная трансформация ландшафтов обесценила территорию — и в эстетическом, и в ресурсно-

экологическом смысле. Вид пораженных лесными пожарами и золотодобычей участков в нижнем течении р.Лантарь оставляет тягостное впечатление. Здесь отработано шесть участков общей площадью 2,5 тыс. га, или 3,5% всего бассейна. Безответственное отношение к использованию местных ресурсов леса, рыбы, животных привело к оскудению их запасов и общему обесцениванию территорий. Многие редкие виды растений находятся в критическом состоянии, в первую очередь на территориях, пострадавших от пожаров. К ним относятся виды из Красных книг: башмачок настоящий (бассейн р.Онектогин), астрокодон распростертолепестный, карагана гривастая (п-ов Ногдар-Неготни). Не лучшая ситуация и с животными. Многие таежные виды исчезли или исчезают с этих территорий, либо сократили свою численность. Прежде всего это касается редких и хозяйственно ценных видов. Снизилась численность белки, соболя, снежного барана, кабарги, рябчика, глухаря и многих других. В крайне тяжелом состоянии находится дикуша [2].

Организация заповедника ограничила сферу прямых воздействий на природные комплексы, однако полностью их исключить пока не удастся. С конца июля по сентябрь продолжается лов кеты и горбуши различными организациями и частными лицами в устьевых частях рек Лантарь и Алдома, что отрицательно сказывается не только на численности, но и на качественном состоянии этих стад. У рыбаков имеются моторные лодки, оружие и собаки, поэтому продолжают случаи браконьерской добычи медведей, лосей, водоплавающих птиц. Вместе с тем очень медленно начинается восстанавливаться природный потенциал территорий. В ряде мест растет и числен-

ность некоторых животных. Однако необходимо помнить, что полный цикл восстановительных сукцессий в данных природных условиях полностью реализуется лишь в течение нескольких сотен лет, за время могут случиться новые широкомасштабные катастрофические пожары.

Поэтому главными задачами горного заповедника сейчас должны стать поддержание естественных процессов природного самовосстановления, охрана территории от новых антропогенных воздействий, изучение состояния и функционирования природных комплексов и их отдельных компонентов, а также мониторинг естественных восстановительных процессов и реакция окружающей среды на снижение и исключение антропогенного влияния на территорию. Пока же единственный заповедник, существующий в горах Охотоморья, не обеспечивает сохранение всего генофонда редких видов растений и животных. За шестилетний период своего существования он не смог оформиться в научное учреждение: нет штатов, не ведется летопись природы.

В современных экономических условиях очень сложно решать вопросы увеличения природных охраняемых территорий. Тем не менее специалисты считают, что для оздоровления экосистемы горы—море в Охотии нужна целая сеть разнородных природоохраняемых учреждений.

Новые природные парки, этнические заказники, памятники природы не только станут способствовать сохранению биоразнообразия при одновременном ограничении хозяйственной деятельности, но и в значительной степени увеличат рекреационное использование этой уникальной горной территории. ■

Литература

1. Харкевич С.С., Манько Ю.И., Васильев Н.Г., Животченко В.И. Создать Джугджурский заповедник // Природа. 1983. №4. С.35—43.
2. Шлотгауэр С.Д., Воронов Б.А. // Вестн. ДВО РАН. 1997. №3. С.57—65.

Черный дятел, или желна

В.И.Булави́нцев,

кандидат биологических наук

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

Сырой лог, когда-то давно бывший лесной речкой, которая обмелела сначала до ручья, а теперь и вовсе потерялась в таволге и кочкарнике, обреченно тонул в комарином звоне. Большие, как в тропическом лесу, ольховые деревья высились темно-серыми колоннами на мшисто-зеленых буграх, спасаясь от избытка земной влаги. Ближе к краям лога, там где посуше, ольшаник уступал место старым осинам и темнохвойным елям. Выше, по песчаным увалам, тянулся к небу вековой бор белошник.

Щедрое весеннее солнце не скупясь дарило теплом все существующее: несметные полчища мещерских комаров, шелковистые кроны корабельных сосен и бархатистую зелень ольхи. На припеке, по сухим буграм, игрались гадючки свадьбы. В прогретых лужах и бочагах, по старым лесным дорогам, зрела лягушачья икра. Пернатые мамы старательно сидели на гнездах, согревая яйца и крошек птенцов.

Семейная пара черного дятла (*Dryocopus martius*), или желны, с конца марта обосновавшаяся в сыром логу, жила своей обыденной жизнью. Красавицы птицы: с ворону величиной,

но много изящнее телом, в перелетах цвета бархатистой сажи и в роскошных карминно-красных шапочках: у самца поверх всей головы, у подруги его, кокетливым треугольничком, только на затылке.

У черных дятлов в обычае подолгу селиться в облюбованных однажды местах. Там они устраивают по несколько дупел, но гнездятся в одном из них, остальные используют для ночлега. Бывает, что их дупла с ранней весны занимают другие птицы. Особенно любят селиться в таких квартирах лесные голуби клинтухи. Вернувшись по весне домой, после зимних скитаний в окрестных лесах и по заболоченным гарям, хозяева не церемонятся. Гнездо выбросят, дупло вычистят. Сильные птицы, серьезные, с такими не поспоришь.

Но наши супруги были молоды, семейная жизнь для них только начиналась. В начале апреля они устроили дупло в старой, прогнившей по сердцевине осине. Высоко, метрах в девяти над землей. Не круглое, как у других дятлов, а овальное снаружи, довольно глубокое и просторное внутри.

Собственно строила дупло самка, супруг только начал его, а она упорно долбила подгнившую древесину, работая по десять часов в сутки. Самец дер-

жался поблизости, охраняя подступы к дому и отыскивая корм.

Пища была повсюду. Личинки рогахвостов, березовых заболонников, усачей и жуков короедов таились под корой и в древесине усыхающих деревьев. В больших высоких муравейниках под темными вековыми елями зрели шелковистожелтые зерна муравьиных яиц — любимое лакомство желны и незаменимый корм для птенцов.

Отыскав особо удачное место, самец оглашал лес чередой звонких криков: «Крю, крю, крю». Сильные звуки, оброненные строгой черной птицей, плыли под пологом векового леса, вплетаясь в весенний гомон птичьих голосов.

Весна споро катилась к лету. Самочка уже вторую неделю почти невылазно сидела в гнезде, терпеливо согревая кладку — три глянцево-белых яйца. Дятел подменял ее только на время кормежки.

В яйцах уже угадывалась жизнь. Слышались слабые, приглушенные скорлупой звуки — сильный писк и робкое поскребывание. Птица беспокойно ерзала в дупле, пятясь с поднятым длинным жестким хвостом, приставляла на коротких серых лапках. Склонив набок длинноносу голову, присматривалась



Желна — самец и самка. Оперением они не отличаются, а только размером шапочки: у самца она большая, поверх всей головы, а у самки маленьким треугольничком покрывает только затылок. Рядом показано дупло. Вход в него овальный, а не круглый, как у других дятлов.

Здесь и далее фото автора



Зимний лес. В это время желна добывает личинок под корой, обдирая ее с дерева.

светло-желтым глазом к яйцам, щуря другой, обращенный к свету, падающему сверху из отверстия дупла.

Жизнь текла своим чередом, как было заведено в старом лесу тысячи лет назад.

В середине мая забот в семействе дятлов прибавилось. Появились птенцы — голые, уродливо-толстоклювые. Они хрипло свирители от непроходящего голода. Родители старались как могли, с раннего утра до позднего вечера мотаясь за кормом. Вначале выкармливали птенцов муравьиными яйцами, а потом принесли насекомых и их личинок.

Правда, черные дятлы, как и прочие их длинноносые родичи, — известные разбойники. При случае гнездо пичуги разорят в считанные минуты, ничего не оставят. Но все же обычно корм для себя и своих детей находят они под корой и в древе-

сине больных деревьев, собирая по сотни и больше короедов с каждого или роясь в полугнилых пнях и муравейниках. Тут у них есть конкуренты — обряженные в изумрудно-серое перо зеленые дятлы (*Picus viridis*) и седые (*P. canus*). Но желна много сильнее своих собратьев, и потому открытых столкновений между ними не бывает. Правда, есть беда похуже — кабань. Пройдет стая диких свиней по лесу, вспарывая лесную подстилку в поисках сладких корешков, дождевых червей и личинок насекомых, наткнутся звери на муравейник, разворошат, порушат его, добираясь до муравьиных яиц. Дятлам там после них делать нечего. Не любит желна соседства кабанов, — чем ей в таких местах крошек птенцов выкармливать?

У наших птиц причин волноваться не было. Кабанов в их краях люди крепко повыбили,

и муравейников хватало. Птенцы росли быстро. Теперь они встречали кормильцев теснясь и толкаясь, поочередно высываясь из дупла и сипло требуя пищи.

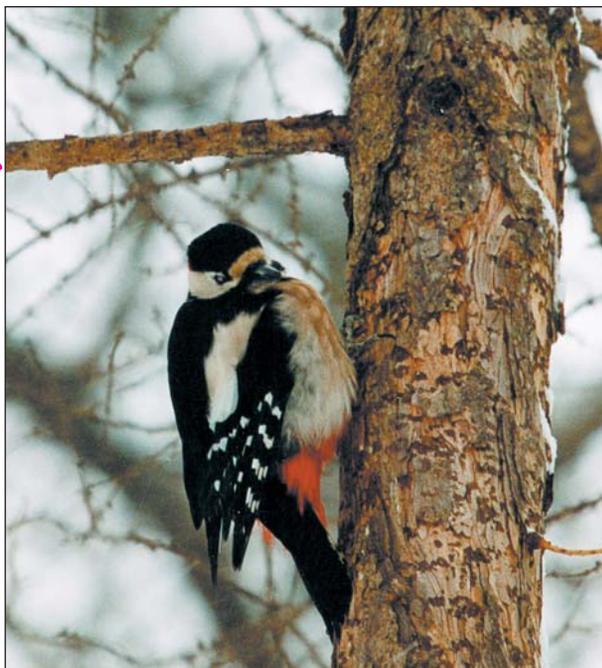
Полдень. Даже комары осели в сырой подстилке и на исподу лесных трав, загнанные туда сухим жаром воздуха, напоенного смолистым ароматом размлевших на солнцепеке сосен. Утомленные зловонной духотой дупла полуоперившиеся птенцы обреченно маялись, провалившись в тяжелую дрему. Их разбудил легкий шорох. Толком не очнувшись от полуденной одури, больше по привычке, чем от голода, они потянулись к свету, сипло голося и толкаясь в ожидании очередного кормления. Но вместо кормильца увидели морду усатого чудовища с темными бусинами жадных глаз. Зверь плотоядно ощерился, шумно втягивая воздух.



Куча щепок. Их надрала желна ранней весной, отыскивая пропитание, а теперь на куче греется лягушка.



Больное дерево, расклеванное черным дятлом в поисках корма.



Большой пестрый дятел — сосед желны. Этим птицам делить нечего, слишком они разные.

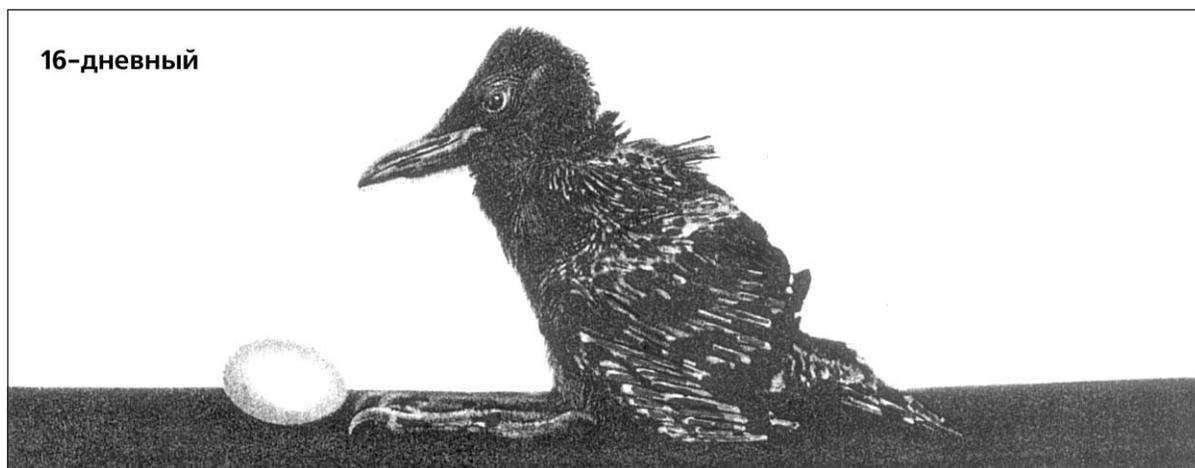
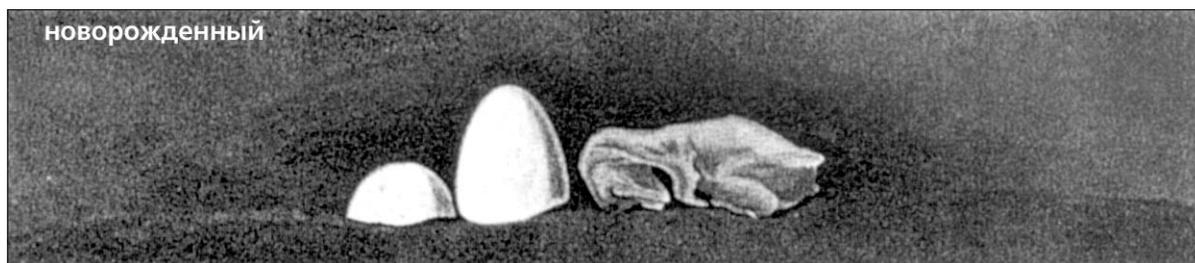
Белка, разорительница гнезд.

Ужинная свадьба.

Задержись мать с очередной порцией корма на несколько секунд, не миновать бы птенцам гибели. Самка дятла застала белку по плечи влезшей в дупло и, не раздумывая, долбанула ее в спину. От боли и испуга зверек метнулся рыжей молнией метра на три вверх по зеленовато-серому шелку осиновой коры, но, увидев чуть ниже дупла черную,

настороженно застывшую птицу, замер, поспешно соображая, что же делать дальше. Присутствие хозяйки явно не входило в разбойничьи планы белки. Переметнувшись на соседний ствол, она соскользнула на землю и, в несколько прыжков одолев расстояние до разлапистой ели, скрылась в густой хвое, злобно цокая на помешавшую ей птицу.

На тревожные крики самки поспешно подлетел обеспокоенный супруг, обозначив прибытие на поле брани резким, протяжным и низким криком: «Ткяй». Связываться с двумя рассерженными птицами было бы уж слишком. Рыжая воронка сочла за благо удалиться и нырнула с елки в густой орешник.



Птенец черного дятла: от только что вылупившегося из яйца до 16-дневного. Яйцо приведено для масштаба.

Дней через десять, после памятного переполоха, четырехнедельные птенцы покинули ставшее тесным гнездо. Еще короткохвостые, в детском буроватом пере, они неуклюже и шумно лазали по стволам, отыскивая за отодранной родителем корой личинок жуков, или копались под присмотром

взрослых птиц в муравейниках. Но уже в конце июня, перелиняв и став дымчато-черными, покинули гнездо и начали самостоятельную жизнь. Осиротевшие родители держались в ольховом логу до конца лета, но к осени пустились в вольное бродяжничество по окрестной лесной глухомани.

Пройдет сырая унылая осень, оттепится январскими морозами красавица зима, и уже в марте вздрогнет еще укутанный снегами берендеев лес от брачных криков и гулкой барабанной дробы больших черных птиц, обряженных в красные шапочки. И все повторится сначала. ■

Динамика смектических мембран в лучах синхротрона

Б.И.Островский

Рентгеновские лучи известны с 1895 г., и с тех пор они служат неоценимым инструментом в исследовании строения вещества. Напомним, что рентгеновское излучение представляет собой электромагнитные волны, занимающие область спектра между ультрафиолетовыми и гамма-лучами. Их длина волны (10^{-2} —10 нм) сравнима с межатомными расстояниями, и это дало возможность в 1912 г. П.Книппингу, В.Фридриху и М.Лауэ впервые увидеть картину дифракции таких лучей в кристалле. Создание теории взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и развитие экспериментальной техники позволили расшифровывать пространственную структуру все более и более сложных объектов — сначала неорганических, а затем ряда белков и даже функциональных элементов живых организмов*.

По мере повышения точности экспериментов возрастали требования к мощности и коллимации рентгеновского излучения. В повестку дня встал вопрос о том, чтобы не только определять средние значения ко-



Борис Исаакович Островский, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории жидких кристаллов Института кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН. Занимается структурными исследованиями жидких кристаллов и упорядоченных органических пленок.

ординат атомов, но и изучать их «жизнь» — тепловые колебания. Возникали трудности при исследовании слабо рассеивающих объектов, например тонких органических пленок и поверхности кристаллов. И на определенном этапе несовершенство лабораторных источников рентгеновского излучения, конструкция которых мало изменилась с 20-х годов прошлого столетия, стало тормозом в научной и технологической сфере. Рентгеновские лучи от обычных источников — рентгеновских трубок — маломощны и излучаются во всех направлениях, а возможности для их фокусировки и коллимации очень ограничены. Кроме того, один из основных недостатков рентгеновских трубок — некогерент-

ность их излучения — ограничивал результат эксперимента усредненной во времени картиной, не позволяя наблюдать динамику структуры. В 70-х годах стало ясно, что синхротронное излучение, которое испускается при движении релятивистских заряженных частиц в накопительных кольцах ускорителей, является куда более интенсивным источником рентгеновских лучей, обладающим к тому же рядом уникальных свойств.

Когда в 30-х годах были построены первые ускорители, их задачей было разгонять частицы до высоких энергий, чтобы в результате столкновений происходили ядерные реакции. Результаты экспериментов позволили установить фундаментальные законы, управляющие микроми-

* О современном состоянии исследований по определению структуры см.: Структурный анализ сегодня // Природа. 1997. №7. С.31—78.

ром и вселенной в целом. Синхротронное излучение первоначально рассматривалось как досадное, нежелательное явление, в результате которого заряженные частицы теряли свою энергию. Уникальные возможности такого излучения для исследования строения вещества были осознаны позднее [1, 2]. В результате во всем мире началось переоборудование накопительных колец для получения собственно рентгеновских лучей, одного из первых — синхротрона ВЭПП-3 в Институте ядерной физики им.Г.И.Будкера в Новосибирске. С середины 80-х годов началось проектирование и строительство уже специализированных источников синхротронного излучения. В настоящее время среди подобных устройств лидируют мощные установки третьего поколения: ESRF (Гренобль, Франция), APS (Аргонн, США) и «Spring-8» (Япония) с энергией заряженных частиц порядка 6—8 ГэВ. Спектральная яркость рентгеновского излучения этих синхротронов приблизительно в 10^{12} раз выше, чем у рентгеновских трубок. В настоящее время в Москве, в Курчатовском научном центре вводится в строй близкий по техническим характеристикам источник «Сибирь». Благодаря созданию новых синхротронных устройств исследования, связанные с физикой поверхности, тонких пленок, магнитных систем и биологических объектов, а также прикладные работы в области нанолитографии обрели второе дыхание. Стали возможными уникальные эксперименты, в которых используются поляризационные и когерентные свойства синхротронных пучков, ранее ассоциировавшиеся преимущественно с оптическими лазерами. Например, динамические процессы в веществе теперь удается изучать на молекулярных масштабах. Но прежде чем перейти к рассказу о новых результатах, остановимся на свойствах синхротронного излучения.

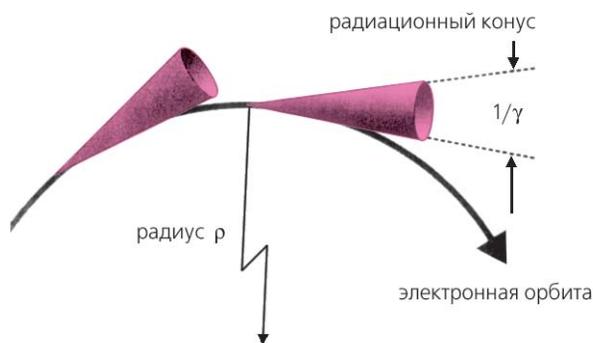


Рис. 1. Синхротронное излучение релятивистской заряженной частицы, движущейся по круговой траектории (показано цветом).

Как излучает синхротрон?

Из классической физики хорошо известно, что движущиеся с ускорением электрически заряженные частицы испускают электромагнитные волны. В частности, магнитное поле, перпендикулярно направлению движения заряженной частицы, вынуждает ее двигаться по круговой траектории, т.е. с ускорением и, следовательно, излучать. При этом излучаемая мощность пропорциональна $\sin^2\psi$, где ψ — угол между вектором центростремительного ускорения и направлением излучения, т.е. распределена симметрично относительно направления движения. Совершенно иначе излучают релятивистские заряженные частицы, скорости которых близки к скорости света. Теперь излучение оказывается сконцентрированным в узком конусе с углом раствора $\approx 1/\gamma$ в направлении движения частицы, как показано на рис.1 ($\gamma = E/m_0c^2$, где E — полная энергия частицы, m_0 — масса покоя, а c — скорость света). Типичные значения угла раствора этого конуса при энергиях порядка 5 ГэВ составляют 0.01° . Спектр излучения чрезвычайно широк и занимает диапазон от инфракрасного до жесткого рентгеновского, а мощность, испускаемая частицей, обратно пропорциональна m_0^4 . Вследствие этого в специализированных синхротронах используют толь-

ко пучки электронов или позитронов.

Первичная эмиссия электронов производится электронной пушкой. С помощью линейного ускорителя они разгоняются до энергии порядка 100—200 МэВ. Затем электроны впрыскиваются в круговой ускоритель (собственно синхротрон), в котором набирают расчетную энергию. На заключительном этапе электроны инжектируются в большое накопительное кольцо с периметром около одного километра, где циркулируют с угловой скоростью порядка 10^6 оборотов в секунду, сохраняя свою энергию в течение многих часов. На орбите электроны удерживает ряд отклоняющих и фокусирующих магнитов. Время жизни пучка в основном определяется качеством вакуума в накопительном кольце (10^{-9} — 10^{-10} мбар) и обычно составляет десятки часов. Хотя накопительное кольцо не является ускорителем в полном смысле слова, возникает необходимость компенсировать потери энергии пучка на синхротронное излучение. Для этих целей используются специальные СВЧ-резонаторы, также расположенные вдоль кольца. Поскольку ускорение в них электронов может происходить лишь тогда, когда СВЧ-поле направлено соответствующим образом, электронный пучок циркулирует в виде последовательных сгустков (банчей). Таким образом, энергия излучается в виде им-

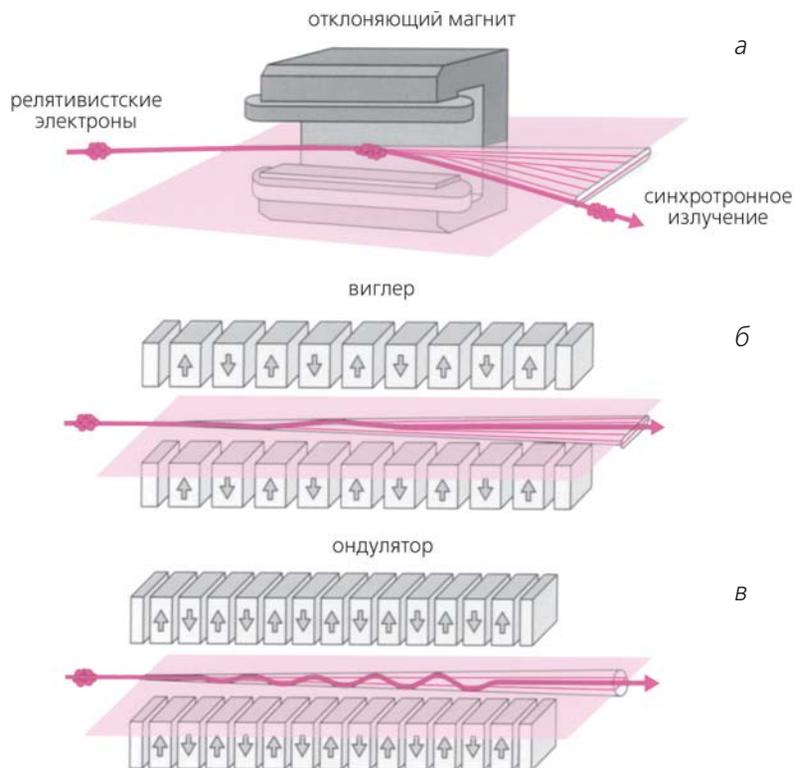


Рис.2. Магнитные устройства формирования синхротронного излучения. а — отклоняющий магнит; б — виглер, система магнитов с чередующейся полярностью (показано стрелками); в — ондулятор (с еще большим числом магнитов).

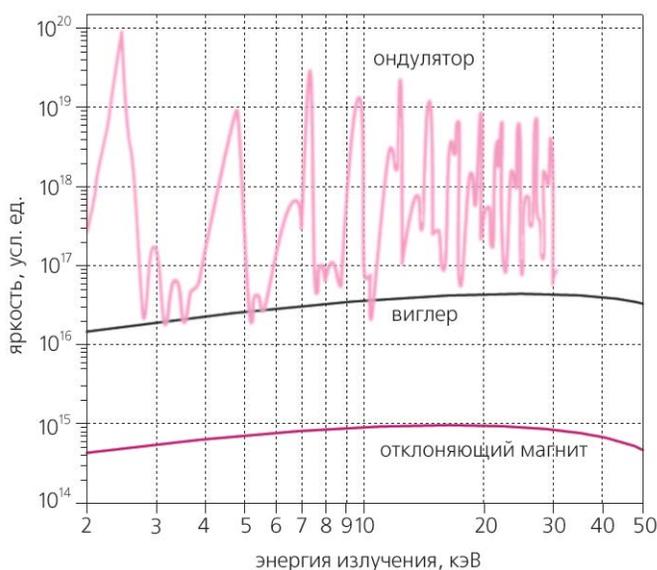


Рис.3. Спектр синхротронного излучения от различных магнитных отклоняющих систем: 1 — отклоняющий магнит; 2 — виглер; 3 — ондулятор.

пульсов, частота которых определяется режимом управления.

В течение довольно долгого времени для получения синхротронного излучения использовались специальные отклоняющие магниты. Под их действием электроны излучают по касательной к криволинейной траектории движения. Вследствие того что радиусы орбит частиц имеют некоторый разброс, синхротронное излучение приобретает вид веера (рис.2). В современных источниках для получения излучения используются более совершенные магнитные системы — виглеры и ондуляторы. Они представляют собой последовательность магнитов с чередующейся полярностью. Изменение направления магнитного поля вынуждает электроны осциллировать относительно их траектории, и синхротронное излучение возникает при каждом повороте пучка. В виглерах интенсивность излучения пропорциональна числу магнитов, а энергетический спектр остается непрерывным. В ондуляторах увеличение числа отклоняющих магнитов приводит к тому, что конусы излучения от последовательных поворотов пучка перекрываются, приводя к интерференции излучения и образованию линейчатого спектра (рис.3). В результате интенсивность излучения для определенных энергий становится на много порядков больше, чем для одного отклоняющего магнита. Настройкой ондулятора можно получить спектральную линию в требуемом диапазоне длин волн. В отличие от обычных рентгеновских источников синхротронное излучение линейно поляризовано в плоскости орбиты, причем вектор напряженности электрического поля направлен к центру кривизны траектории. Несмотря на превосходную коллимацию излучения ондулятора, когерентность рентгеновского пучка невелика, поскольку эмиссионные процессы в ондуляторе происходят спонтанно. Однако ее можно существенно повысить, если, ис-

пользуя спектральную и пространственную фильтрацию, выделить когерентную компоненту в исходном пучке.

Обеспечиваем когерентность

Изобретение лазера в 60-х годах оказало поистине революционное воздействие на многие области физики, химии и биологии. Когерентность этих источников света вызвала к жизни новые направления в науке и технологии, и среди них — динамическое рассеяние света, или фотонную корреляционную спектроскопию [3]. Суть этого метода заключается в следующем. Если когерентное излучение падает на неоднородную или флуктуирующую среду, рассеянное излучение образует так называемую картину спеклов, которая воспроизводит моментальное расположение рассеивателей с учетом фазовых соотношений между ними. Движение рассеивателей вызывает соответствующие изменения спеклов и, следовательно, содержит информацию о динамике системы. Фотонная корреляционная спектроскопия позволяет измерять временную автокорреляционную функцию рассеянной интенсивности. Эта функция определяет характерные масштабы времен, на которых движение рассеивателей скоррелировано, т.е. зависит от их положений в предыдущие моменты времени. Минимальные масштабы длин, в пределах которых может изучаться динамика таким способом, определяются длиной волны когерентного света. Использование когерентного рентгеновского излучения позволяет распространить методы корреляционной спектроскопии на область молекулярных и атомных масштабов. Эти эксперименты дают уникальную информацию о динамике и релаксационных процессах в молекулярно упорядоченных средах, недоступную для обычных структурных исследований.

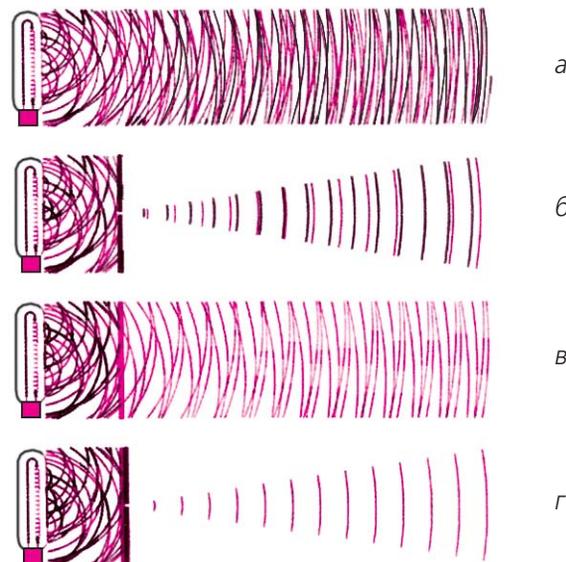


Рис.4. Способ получения когерентного излучения от обычного теплового источника света с использованием точечной диафрагмы и монохроматора. Когда полихроматические сферические волны от различных точек протяженного источника накладываются друг на друга, интерференционная картина размывается (а). Узкая апертура позволяет получать сферические волны, отвечающие широкому частотному спектру (б). Монохроматический фильтр пропускает излучение лишь определенной длины волны (в). Сочетание узкой диафрагмы с монохроматическим фильтром приводит к формированию монохроматической сферической волны (г).

Рентгеновское динамическое рассеяние можно также использовать при изучении оптически непрозрачных сред.

Когерентность источников излучения обычно связывают с возможностью наблюдения интерференционной картины, как, например, в классическом эксперименте Т.Юнга с двумя щелями. Когда на такую систему падает плоская монохроматическая волна, на экране, который расположен за щелями, наблюдается чередование ярких и темных полос, отвечающих интерференции волн от двух отверстий. Если источник излучения хаотический (некогерентный), интерференционный контраст уменьшается. В случае протяженного источника, как показано на рис.4,а, излучение от различных его частей размывает интерференционную картину. Аналогичный эффект наблюдается также для полихроматичес-

кого пучка (с непрерывным спектром излучения). Для обеспечения когерентности перед протяженным источником устанавливают узкую диафрагму и монохроматический фильтр (рис.4). Хотя интенсивность излучения существенно уменьшается, поставленную задачу все же удается решить: на достаточно большом удалении от отверстия формируется монохроматическая сферическая волна, являющаяся заведомо когерентной.

В качестве количественной меры когерентности реального пучка обычно вводят так называемые продольную ξ_1 (в направлении распространения пучка) и поперечную ξ_2 (вдоль волнового фронта) длины когерентности (рис.5). Продольная длина когерентности — это мера сохранения когерентности во времени, она показывает, насколько быстро накапливается сдвиг по фазе между компонен-

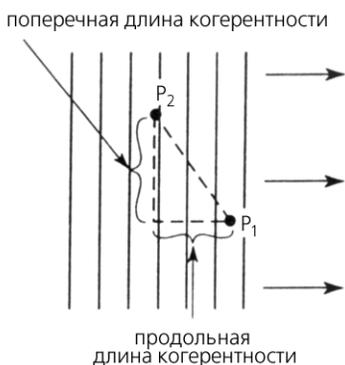


Рис.5. Продольная и поперечная длины когерентности. Фронт волны распространяется в направлении стрелок. Точки P₁ и P₂ ограничивают ту область, в пределах которой волновое поле еще можно считать когерентным (выбрав точки в пределах этой области в качестве источников, можно наблюдать интерференционную картину).

тами волнового поля с разными длинами волн. Данная величина определяется спектральной шириной пучка $\Delta\lambda$, как показано на рис.6: чем выше спектральная чистота линии, тем большее расстояние требуется для набегга фаз 180° и тем больше ξ_1 . Поскольку между частотной шириной спектра $\Delta\nu$ и длительнос-

тью когерентного волнового пучка Δt существует соотношение, аналогичное соотношению Гейзенберга в квантовой механике — $\Delta\nu\Delta t \approx 1$, величина ξ_1 может быть записана в виде [4]

$$\xi_1 = c\Delta t \approx c/\Delta\nu = \lambda^2/\Delta\lambda, \quad (1)$$

где частота излучения ν связана с длиной волны λ соотношением $\nu = c/\lambda$. Для получения монохроматического излучения в рентгеновском диапазоне длин волн используется дифракция на совершенных кристаллах германия или кремния. Спектральный диапазон при этом составляет $\Delta\lambda/\lambda \approx 10^{-4}$, а продольная длина когерентности достигает величин $\xi_1 \approx 10^4\lambda$. Для рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda=0.15$ нм это дает $\xi_1 \approx 1.5$ мкм, что позволяет исследовать пленки, содержащие сотни молекулярных слоев.

Поперечная длина когерентности определяет характерный масштаб длин в направлении, перпендикулярном распространению пучка, для которого фазы волн скоррелированы. Величина ξ_1 зависит как от размера источника излучения, так и от расстояния между источником

и образцом. Полная пространственная когерентность достигается в случае сферического волнового фронта, порождаемого точечным источником. Но подобный источник — явная идеализация. В связи с этим уместно задать вопрос: «Реальный источник какого размера можно считать точечным?» Или в более конкретной для нашего случая формулировке: «Насколько мал должен быть размер ондулятора или ограничивающей его диафрагмы, чтобы получить когерентный рентгеновский пучок?»

Как из волновой оптики, так и используя квантовые представления о потоке фотонов, можно получить следующую связь между размером ограничивающей диафрагмы, помещенной перед источником излучения, D и углом раствора лучей $\Delta\theta$ [4]:

$$D\Delta\theta \approx \lambda/2. \quad (2)$$

Даже если диафрагма вырезает участок фронта, образуемого абсолютно плоской волной, законы дифракции заставляют излучение распространяться за щелью в виде расходящегося пучка. Для получения когерентной сферической волны необходимо создать источник с эффективным размером и угловой расходимостью, отвечающим соотношению (2) (рис.7). Поскольку длина рентгеновских волн на несколько порядков меньше, чем в оптике, когерентная сферическая волна от сопоставимых по размеру источников может быть сформирована только на больших расстояниях R . Определяя поперечную длину когерентности как $\xi_1 = R\Delta\theta$, получаем в итоге

$$\xi_1 \approx R\lambda/2D. \quad (3)$$

Для эффективного размера ондулятора $D = 0.4$ мм, $\lambda = 0.15$ нм и $R = 50$ м поперечная длина когерентности оказывается порядка $\xi_1 \approx 10$ мкм.

Завершая этот раздел, отметим, что оптический лазер по-прежнему остается непревзой-

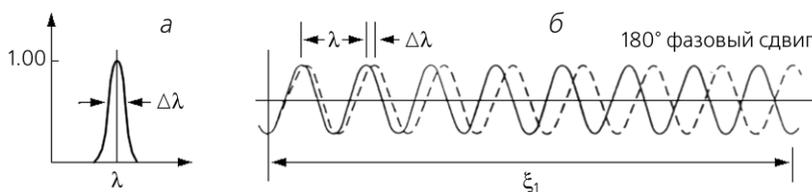


Рис.6. Связь между спектральной шириной линии (а) и продольной корреляционной длиной ξ_1 (б). Величина ξ_1 определяется расстоянием, на котором фазовый сдвиг между двумя волнами с разницей в длинах волн $\Delta\lambda$ становится равным 180° , т.е. волны приходят в противофазе и гасят друг друга.

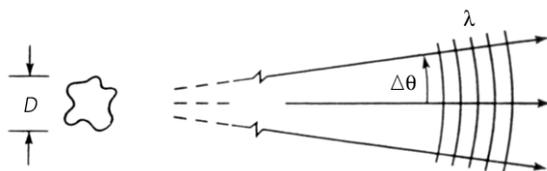


Рис.7. Формирование когерентной сферической волны от источника конечного размера в ограниченном угловом диапазоне.

денным по своим характеристикам источником когерентного излучения. Для сравнения в таблице приведены свойства обычного гелиево-неонового лазера, широко используемого в оптических экспериментах, и ондуляторного источника «Troika-1» в Европейском центре синхротронных исследований — ESRF (European Synchrotron Radiation Facility, Гренобль). Хотя современные источники синхротронного излучения существенно уступают лазеру по своим когерентным свойствам, они совершенно незаменимы, когда речь идет об экспериментах, требующих атомного разрешения.

Таблица

Сравнение когерентных свойств лазера и ондуляторного синхротронного источника.

	30 мВт He-Ne лазер	Ондулятор
Интенсивность (фотоны/с)	10^{17}	10^9
Длина волны λ (нм)	632.8	0.15
Продольная длина когерентности	30 см (500000 λ)	1.5 мкм (10000 λ)
Поперечная длина когерентности	1 см (15000 λ)	10 мкм (60000 λ)

Как движутся слои в смектических мембранах?

Итак, мы выяснили, какой инструмент необходим для исследования динамических процессов в веществе на молекулярных масштабах. Чрезвычайно интересными объектами для подобного изучения оказались смектические мембраны. Смектические мембраны или, как их еще называют, свободно подвешенные пленки жидких кристаллов — идеальные модели для анализа упорядочения и фазо-

вых превращений в системах пониженной размерности. Примеры последних можно найти в самых разных областях: это и молекулярные монослои на поверхностях кристаллов и жидкостей, и бислоевые липидные мембраны, имитирующие биологические процессы в клетке, и органические пленки молекулярных размеров, используемые в микро- и биоэлектронике. Смектические мембраны состоят из многократно повторяющихся слоев, в которых органические молекулы преимущественно ориентированы своими длинными осями в направлении нормали к плоскости слоев (рис.8). В то же время в плоскости слоев центры масс молекул распределены хаотично. Смектические мембраны, подобно мыльным пленкам (если только они не свернулись

в пузырь), не могут существовать сами по себе, без поддерживающей рамки. Для их получения необходимо смочить края отверстия веществом и затем, двигая плоским предметом поперек отверстия, натянуть на него пленку. За исключением узкой области, примыкающей к границе отверстия, пленка является плоской, так как поверхностное натяжение минимизирует ее площадь. При этом смектические слои ориентированы параллельно плоскости отверстия, ограничивающего пленку. Она не рвется благодаря упругой реакции на растяжение (сжатие) слоев вдоль нормали к поверхности. Подобные пленки отличаются высокой степенью однородности, причем площадь мембран может достигать десятков квадратных сантиметров, а их толщина — варьиру-

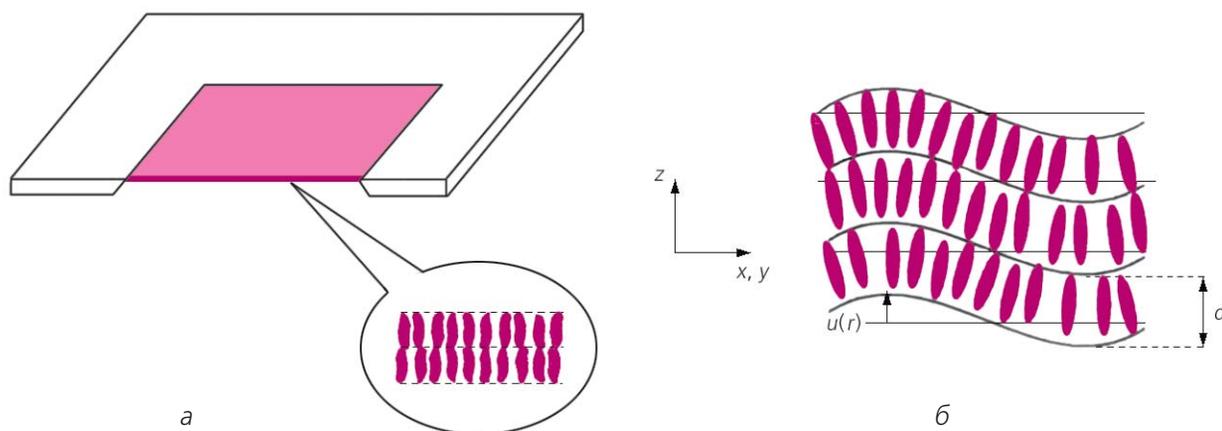


Рис.8. Схематическое изображение смектической мембраны. а — пленка, натянутая на отверстие в подложке; б — тепловые деформации слоев в смектике: показана мода поперечного изгиба; d — период слоев ($\approx 2\div 3$ нм); $u(r)$ — отклонение слоя от положения равновесия.

ваться от двух до многих сотен молекулярных слоев.

Известно, что тепловое движение атомов и молекул в твердых телах приводит к их отклонению от своих равновесных положений на сотые и десятые доли ангстрема. В смектических мембранах с одномерным слоевым порядком тепловые флуктуации вызывают гораздо более сильные отклонения слоев от заданных позиций — амплитуды смещений могут составлять несколько ангстрем [5, 6]. Это связано с тем, что в смектиках, в отличие от обычных кристаллов, трансляционный порядок (строгая повторяемость в положении молекул) осуществляется не по всем трем направлениям, а только вдоль нормали к плоскости слоев. В плоскости слоя мы имеем дело с жидкостью, а упругая реакция возникает лишь при деформации пленки в направлении, перпендикулярном слоям. Отклонения слоев от их равновесных положений описываются с помощью параметра $u_z = u(\mathbf{r})$, характеризующего смещения слоев в направлении нормали к слоям z . Для смектиков характерны два типа деформации слоев: сжатие-растяжение вдоль оси z и так называемый поперечный изгиб, при котором период слоев остается неизменным (рис. 8,б). Подчеркнем, что оба процесса связаны с деформацией в направлении, перпендикулярном слоям: в каком-то смысле первый можно уподобить продольной, а второй — поперечной волне (о деформации в пределах плоскости «жидкого» слоя говорить не приходится).

При рассмотрении тепловых колебаний в кристаллах обычно переходят к Фурье-компонентам смещений: $u(\mathbf{q})$, где \mathbf{q} — волновой вектор волны смещения. Вектор \mathbf{q} определяет направление и длину волны, $l = 2\pi/q$, деформационного искажения кристалла. В смектиках компоненты волнового вектора q_z и q_\perp отвечают соответственно волнам смещений в направле-

нии вдоль нормали к слоям и в плоскости слоев. Вклад этих деформаций в упругую энергию кристалла, рассматриваемого как совокупность гармонических осцилляторов, определяется упругими модулями B и K : член Bq_z^2 отвечает моде сжатия-растяжения, в то время как член Kq_\perp^4 — моде поперечного изгиба (ондуляций слоев). Квадратичная по отношению к q_z зависимость вполне привычна, она аналогична известной формуле для энергии деформируемой пружины. А вот слагаемое с четвертой степенью q_\perp есть отражение «жидкостной» реакции слоя на распространение возмущений в его плоскости.

Деформационные искажения в кристалле могут быть как длинноволновые, с длиной волны l порядка размера пленки, так и коротковолновые, порядка межмолекулярных расстояний в кристалле. В объемном образце смектика волны смещений или, как их еще называют, собственные моды колебаний образуют непрерывный спектр, охватывающий весь диапазон длин волн деформационных искажений кристалла. Однако не все эти моды равноценны — легче всего возбуждаются тепловые колебания, отвечающие длинноволновым ($q_z \rightarrow 0$; $q_\perp \rightarrow 0$), т.е. охватывающим весь кристалл, модам смещений.

Сказанное выше рисует статическую, усредненную по времени структуру смектика. Стреление смектических пленок и тепловые флуктуации положений слоев в них были изучены в многочисленных рентгеновских дифракционных экспериментах. Но в этих экспериментах регистрировались усредненные по времени величины, например среднеквадратичные амплитуды смещений слоев, а не их динамика. Что можно сказать по поводу динамики тепловых флуктуаций слоев в смектических мембранах? В общем виде она описывается достаточно сложной системой гидродинамических уравнений (см., напр.,

монографии [5, 7]). Однако в ряде случаев эти уравнения могут быть линеаризованы и записаны в сравнительно простой форме. Для интересующего нас случая уравнение гидродинамики представляет собой по сути запись второго закона Ньютона для смещений слоев $u(\mathbf{r})$ в направлении вдоль нормали к слоям z . Левая часть уравнения — это, как обычно, инерционный член, $\rho[\partial^2 u(\mathbf{r})/\partial t^2]$, где ρ обозначает плотность среды, а в правой части представлены вязкое трение и упругая сила, действующие на смектические слои. Оценки показывают, что в объемных образцах смектика инерционный член не играет существенной роли. В результате уравнение движения смектических слоев существенно упрощается, а временная корреляционная функция смещений слоев описывается простым экспоненциальным выражением вида $\langle u(\mathbf{q}, t) u^*(\mathbf{q}, 0) \rangle \sim \exp(-t/\tau_q)$. (4)

Характерное время релаксации τ_q зависит от величин B , K , длины волны возмущения и коэффициента вязкости η_3 , отвечающего сдвигу смектических слоев относительно друг друга. Ситуация напоминает колебания тела на пружинке в вязкой среде: будучи выведено из положения равновесия, тело просто возвращается в исходную точку, не совершая осцилляций. Это соответствует так называемому передемпфированному режиму колебаний: сказывается жидкостная природа слоев.

Спектр релаксационных мод объемного образца смектика получается непрерывным, т.е. в нем наблюдаются возмущения, отвечающие всему набору длин волн. Но при рассмотрении динамических свойств смектических мембран конечной толщины L необходимо учитывать соответствующие граничные и начальные условия. В энергии смектической пленки появляется дополнительный поверхностный вклад, пропорциональный коэффициенту поверхностного натяжения

σ на границе пленка—воздух. Поверхностная энергия модифицирует спектр собственных мод пленки, который теперь зависит как от толщины пленки, так и от σ . Учет граничных условий приводит к тому, что спектр релаксационных мод становится дискретным. В длинноволновом пределе ($q_{\perp} \rightarrow 0$) от него остается единственное релаксационное время [8, 9]

$$\tau_1 = \eta_3 L / 2\sigma. \quad (5)$$

Для типичных значений величин, входящих в выражение (5) $\eta_3 \approx 0.04$ кг/м·с, $\sigma \approx 0.02$ Н/м и толщины пленки L порядка микрона (10^{-6} м), получаем характерные времена релаксации порядка микросекунд. Как раз этих времен релаксации и следует ожидать в экспериментах по динамическому рентгеновскому рассеянию в смектических мембранах, к которым мы и перейдем.

И наконец — об экспериментах

Эксперименты по динамическому рентгеновскому рассеянию были проведены на ондуляторной линии «Troika-I» [10, 11]. Рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda \approx 0.155$ нм падает на смектическую мембрану под углом $\theta \approx 1.5^\circ$ и регистрируется детектором в плоскости рассеяния (рис.9). В этих условиях дифракция рентгеновских лучей на слоевой структуре приводит к образованию интенсивного брэгговского пика. Монохроматичность излучения задается пропусканием кремниевого Si(111) монохроматора, что обеспечивает величину продольной длины когерентности $\xi_{\parallel} \approx 1.5$ мкм. Образец располагается на расстоянии $R \approx 46$ м от ондулятора, что обеспечивает величину поперечной длины когерентности $\xi_{\perp} \approx 10$ мкм. Поскольку размеры пленки значительно превышают эту величину, непосредственно перед образцом располагается ограничивающая диафрагма диаметром

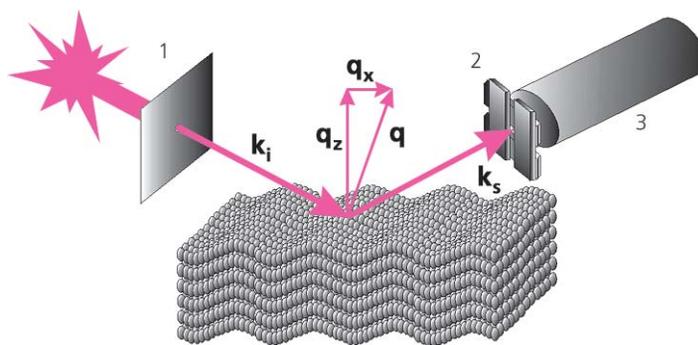


Рис.9. Схема эксперимента по измерению динамики слоевых флуктуаций в смектических мембранах с помощью когерентного синхротронного излучения. 1 — диафрагма, вырезающая когерентную компоненту пучка; 2 — детекторная апертура; 3 — детектор. \mathbf{k}_i и \mathbf{k}_s — волновые векторы падающего и рассеянного излучения; \mathbf{q}_z и $\mathbf{q}_x = \mathbf{q}_{\perp}$ — компоненты вектора рассеяния \mathbf{q} в направлении вдоль нормали к смектическим слоям и в плоскости слоев соответственно.

≈ 10 мкм. Это позволяет облучать пленку исключительно когерентным пучком. Прямым доказательством когерентности пучка служит наблюдение картины фраунгоферовской дифракции от ограничивающей апертуры в отсутствии образца.

В экспериментах по фотонной корреляционной спектроскопии измеряется парная временная корреляционная функция $G^{(2)}(q, t) = \langle I(\mathbf{q}, 0)I(\mathbf{q}, t) \rangle / \langle I(\mathbf{q}, t) \rangle^2$, где $\langle I(\mathbf{q}, t) \rangle$ — интенсивность, регистрируемая детектором (рис.9). Эта функция измеряется с помощью цифрового быстродействующего коррелятора. В условиях описываемого эксперимента функция $G^{(2)}(q, t)$ полностью определяется парной временной корреляционной функцией смещений слоев $\langle u(\mathbf{q}_{\perp}, z, 0)u^*(\mathbf{q}_{\perp}, z, t) \rangle$, аналитическое выражение для которой может быть получено из уравнений гидродинамики смектической мембраны [9].

Временная автокорреляционная функция $G^{(2)}(t)$, измеренная в смектических пленках жидкого кристалла октилоксицианобифенила различной толщины, показана на рис.10. В соответствии с предсказаниями теории функция $G^{(2)}(t)$ в мембранах толщиной 7 мкм и выше демонстрирует экспоненциальный спад флуктуа-

ций смещений слоев на временной шкале порядка микросекунд. Однако неожиданно выяснилось, что с уменьшением толщины пленки ее динамика меняется: наряду с экспоненциальным затуханием флуктуаций наблюдается осцилляторное поведение с характерными временами порядка десятка микросекунд. Результаты измерений хорошо описываются уравнением вида

$$G^{(2)}(t) = 1 + A \cos(\omega t) \exp(-t/\tau), \quad (6)$$

где амплитуда A определяется степенью когерентности, а величины τ и $2\pi/\omega$ представляют соответственно времена релаксации и осцилляций. Если продолжить нашу аналогию с маятником, то в данном случае тело, выведенное из положения равновесия, возвращается в исходную точку, совершая ряд осцилляций.

Необходимо отметить, что в проведенных экспериментах удалось исследовать возмущения, отвечающие сжатию—растяжению смектических слоев, с длиной волны порядка периода слоев $d \approx 2.8$ нм, что по крайней мере в 100 раз меньше, чем масштабы неоднородностей, доступных в экспериментах по динамическому рассеянию света в оптическом диапазоне длин волн. В то же время во времен-

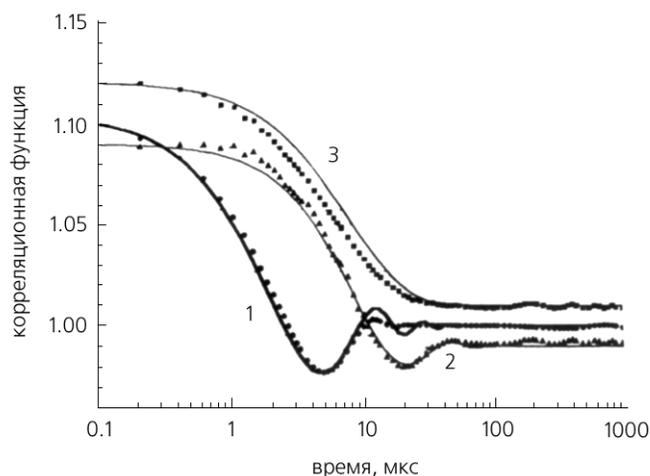


Рис. 10. Парная временная корреляционная функция для смектических мембран различной толщины: 1 — 0.3 мкм; 2 — 4 мкм; 3 — 7 мкм. Сплошные кривые — результат теоретического расчета.

ной корреляционной функции смещений слоев представлен целый спектр ондуляций слоев — от длин волн, приближающихся к молекулярным размерам, до макроскопических, порядка поперечной длины когерентности $\xi_c \approx 10$ мкм. Вклад этих мод неравноценен, и в измеряемой корреляционной функции $G^{(2)}(q, t)$ в основном доминируют длинноволновые изгибные моды с временами релаксации, описываемыми выражением (5).

Неожиданный с точки зрения теории осцилляторный режим в динамике флуктуаций слоев наблюдается лишь для тонких пленок — в толстых смектических пленках ничего подобного нет [12]. Поэтому пришлось критически взглянуть на сделанные ранее оценки и задаться вопросом: пленки какой толщины корректно считать объемными? Выяснилось: пренебрежение инерционным членом в уравнении движения слоев несправедливо для пленок, содержащих менее 100–500 слоев (точное число зависит от материала). Это связано с тем, что в выражении для энергии деформации смектиков отсутствует вклад, пропорциональный q_\perp^2 . Однако для сравни-

тельно тонких смектических мембран ситуация меняется из-за появления дополнительного поверхностного вклада $\sim \sigma q_\perp^2$. Это приводит к тому, что в длинноволновом пределе ($q_\perp \rightarrow 0$) поверхностный вклад начинает превалировать над энергией изгибной моды Kq_\perp^4 и инерционный член становится существенным [8, 9]. В итоге появляются осцилляции в динамике тепловых движений слоев в пленке. С увеличением толщины мембраны вклад поверхности в энергию системы уменьшается и, начиная с некоторой критической толщины, наблюдается только экспоненциальное затухание (рис. 10).

О перспективах

Проведенные эксперименты показали, что методы фотонной корреляционной спектроскопии, основанные на использовании когерентных источников излучения, могут быть распространены на область рентгеновских длин волн. Возникают уникальные возможности для исследования динамических процессов в веществе на молекулярной шкале расстояний. Напомним, что при изучении сравни-

тельно медленных процессов ($1-10^6$ Гц) с характерными масштабами порядка длины волны видимого света широко используется динамическое рассеяние света [3]. Для изучения быстрых процессов в конденсированных средах (10^9-10^{12} Гц) на молекулярной шкале длин привлекают неупругое рассеяние нейтронов. Динамическое рассеяние излучения в рентгеновском диапазоне длин волн позволяет исследовать относительно медленные процессы ($10^{-2}-10^8$ Гц) с характерными масштабами неоднородностей, лежащими в молекулярном диапазоне: $10^{-1}-10^3$ нм.

Как мы убедились, благодаря современным источникам синхротронного излучения удастся проводить эксперименты с когерентными рентгеновскими лучами. А возможно ли создание на их основе когерентного рентгеновского источника, по своим свойствам приближающегося к оптическому лазеру? Проблема заключается в том, что электроны движутся в ондуляторе в ступках (банчах) без какого-либо позиционного порядка, т.е. в виде электронного облака. Если бы удалось разбить это облако на микрообласти, разделенные интервалом, равным длине рентгеновской волны λ , тогда излучение от одного микробанча было бы в фазе с излучением от всех других микрообластей, и задача была бы решена. Физическая основа для этого есть: по мере движения в ондуляторе электроны начинают когерентным образом взаимодействовать с электрическим полем испускаемого излучения, которое пространственно промодулировано с периодом, равным длине волны излучения, и, следовательно, стремится разбить электроны на микрообласти того же периода. Данный процесс становится самоподдерживающимся благодаря механизму обратной связи при достаточно высоких плотности электронного газа и напряженности поля излучения. Ондулятор, сконструированный для реализации этих условий,

известен как лазер на свободных электронах. В обычных накопительных кольцах синхротронов плотность электронов для этого недостаточно высока, и эта задача решается с помощью специальных линейных ускорителей. В настоящее время не существует каких-либо технических препятствий к созданию импульсного рентгеновского источника с длиной волны $\lambda \approx 0.1$ нм, полностью когерентного в поперечной плоскости, и со спектральной яркостью на много порядков большей, чем излучение от современных источников синхротронного излучения [13]. Подобные установки строятся в настоящее время в исследовательских центрах SLAC (Stanford Linear Accelerator Center, Станфорд, США) и DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron, Гамбург, Германия). Ожидается, что подобные источники станут доступны для пользователей уже в нынешнем десятилетии.

Другое, не менее важное, свойство специализированных источников синхротронного излучения — естественная поляризация последнего. Возможности, связанные с поляризацией рентгеновского излучения, в настоящее время реализованы далеко не полностью — исключение составляет лишь магнитное рассеяние рентгеновских лучей в магнитоупорядоченных кристаллах. Поляризация играет определяющую

роль в тех случаях, когда энергия рентгеновских квантов выбирается вблизи края поглощения определенных атомов в веществе и происходит резонансное рассеяние. Вследствие анизотропного окружения резонансного атома поляризация и фазы рассеянных волн зависят от ориентации молекул по отношению к поляризации падающего пучка. Это позволяет исследовать «запрещенные» рефлексы, которые в обычном рентгеновском эксперименте не проявляются [14]. Таким образом, использование поляризации может стать мощным инструментом для расшифровки новых структур.

Эксперименты по динамическому рентгеновскому рассеянию уже дали уникальную информацию о динамике слоевых флуктуаций в смектических мембранах, и это только начало. На очереди стоит изучение аналогичных процессов в более сложных мембранных системах. К ним относятся лентмюровские монолои и пленки, ньютоновские черные пленки, мембраны на основе ассоциирующихся полимеров и полиэлектролитов. Не менее актуально исследование динамики поверхности жидких кристаллов. Несомненный интерес представляет изучение динамики пленок поверхностно-активных веществ, образующих лиотропные ламеллярные фазы. Пример по-

следних — модельные мембраны на основе растворов фосфолипидов в воде, образующих липидные бислои, которые перемежаются водными прослойками. Важное значение имеет изучение динамики липидных мембран с внедренными в них молекулами ДНК. В частности, линейные молекулы ДНК и некоторые смеси катионных липосом могут самоорганизовываться в двумерные смектические фазы, внедренные в липидные бислои. Подобные системы интересны тем, что они позволяют моделировать процессы транспорта молекул ДНК через клеточные мембраны. Очень важным представляется развитие фазово-чувствительных методов, включая рентгеновскую голографию, а также спекл-интерферометрии в рентгеновском диапазоне длин волн. Этими примерами, разумеется, не исчерпывается разнообразие задач в физике, биологии и химии, которые могут решаться с помощью когерентного рентгеновского излучения. Новое направление, несомненно, окажет самое непосредственное влияние на понимание процессов в мире молекулярных масштабов, который все в большей степени определяет нашу жизнь. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 00-03-33174.

Литература

1. Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. // Успехи физ. наук. 1977. Т.122. С.369—418.
2. Тернов И.М., Михайлин В.В. Синхротронное излучение. М., 1986.
3. Спектроскопия оптического смещения и корреляция фотонов / Под ред. Г.Камминса, Э.Пайка. М., 1978.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1973.
5. De Gennes P.G. and Prost J. Physics of Liquid Crystals. Oxford, 1992.
6. Пикин С.А. Структурные превращения в жидких кристаллах. М., 1981.
7. Кац Е.И., Лебедев В.В. Динамика жидких кристаллов. М., 1988.
8. Ponierewski A., Holyst R., Price A.C. et al. // Phys. Rev. E. 1998. V.58. P.2027—2040.
9. Sbalaginov A.N. and Sullivan D.E. // Phys. Rev. E. 2000. V.62. P.699—710.
10. Fera A., Dolbnya I., Grubel G., Muller H.G., Ostrovskii B.I. et al. // Phys. Rev. Lett. 2000. V.85. P.2316—2319.
11. Sikbarulidze I., Dolbnya I., Fera A., Madsen A., Ostrovskii B.I. and Jen W.H.de // Phys. Rev. Lett. 2002. V.88. P.115503.
12. Price A.C., Sorensen L.B., Kevan S.D. et al. // Phys. Rev. Lett. 1999. V.82. P.755—758.
13. Als-Nielsen J., McMorrow D. Elements of modern X-ray Physics. N.Y., 2000.
14. Беляков В.А., Дмитриенко В.Е. // Успехи физ. наук. 1989. Т.158. С.679—721.

Новости из жизни ускорителей

Международная конференция по ускорителям заряженных частиц высоких энергий (International High Energy Accelerator Conference — HEACC) проводится каждые три года, и такой ритм позволяет хорошо отслеживать эволюцию в этой области. Последняя встреча состоялась в марте 2001 г. в Научном центре Цукубы (Япония). Краткий отчет о ней появился на страницах вестника ЦЕРНа (CERN Courier, June 2001. V.4. №5. P.6—7). Из него следует, что коллайдеры (ускорители со сталкивающимися пучками) по-прежнему лидируют в качестве предпочтительного инструмента для получения сверхвысоких энергий. Одновременно происходит смещение акцентов при использовании в экспериментах фиксированных мишеней. Относительно небольшой симпозиум HEACC позволяет дать четкий обзор основных событий на ускорительной сцене, тогда как в ходе больших конференций со многими параллельными секциями может возникнуть размытое и фрагментарное их восприятие.

В своем вступительном докладе директор Лаборатории КЕК — хозяйки встречи — Х.Сугавара подчеркнул, что в настоящее время есть реальные физические задачи для протонного коллайдера с энергией 100 TeV и электрон-позитронного коллайдера с энергией 10 TeV, для которых текущие проекты — пока только предвестники. Его призыв сосредоточить внимание на новых подходах к научно-исследовательским разработкам в области ускорительных технологий нашел понимание и прошел красной нитью через все заседания.

С момента последней встречи в рамках HEACC в 1998 г. в Дубне произошли некоторые изменения

в использовании коллайдеров высоких энергий с электрон-позитронными пучками. Завершили свою работу установки SLAC (Станфорд, США) и LEP (ЦЕРН), и акцент был перенесен на коллайдеры с меньшей энергией PEP-II (США) и КЕКВ (Япония). На них с применением асимметричных пучков электронов и позитронов (имеющих неравные энергии) начато исследование В-частиц, содержащих пятый («b») кварк. Эти коллайдеры быстро превысили прежние рекорды по эффективности взаимодействия встречных пучков, обеспечив значение светимости (число столкновений на единицу площади в единицу времени) выше $10^{33} \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$.

На электрон-позитронном коллайдере CESR (Корнелл, США), вносящем основной вклад в исследование В-частиц на протяжении многих лет, планируется уменьшить энергию сталкивающихся пучков, чтобы перейти к изучению другого типа кварков. Еще одним специальным «фокусом» научных изысканий становится процесс рождения тау-лептона и чарма (четвертого, «c»-кварка). Подобные работы входят в новые планы Института ядерной физики им.Г.И.Будкера в Новосибирске — «оплота» электрон-позитронных коллайдеров с давних пор.

Во время строительства электрон-позитронный коллайдер LEP часто рассматривался как последний из больших кольцевых ускорителей. Однако его размеры (длина кольца Большого адронного коллайдера — LHC — 27 км) уже выглядят почти карликовыми, когда обсуждается возможность создания Очень большого адронного коллайдера (VLHC) с огромным кольцевым туннелем. Этот новый туннель мог бы вместить

электрон-позитронный коллайдер с энергией столкновения около 370 ГэВ (для сравнения: у LEP энергия составляет 100 ГэВ).

И все же сейчас для достижения высоких энергий в электрон-позитронных коллайдерах за основу выбраны линейные ускорители, а в ускорительных центрах проводится активная научно-исследовательская работа по решению проблем, возникающих на пути к более высоким энергиям.

На стенде испытаний обогривания ускорителей ATF в центре КЕК достигнут эмиттанс (размеры×расходимость) пучка 10^{-11} рад м, что уже можно считать обнадеживающими результатами для линейных коллайдеров. Но так же оценивать достижения в создании нужного градиента напряжений с уверенностью пока нельзя. Разработчики несверхпроводящих резонаторов при испытаниях в ATF столкнулись с пробоями на уровне $60 \text{ МВ} \cdot \text{м}^{-1}$. Подобные сложности возникли и в других лабораториях, в том числе и на аналогичном стенде в SLAC (проект Следующего линейного коллайдера).

Однако не все делегаты конференции были столь пессимистичны: Г.Лоэ из SLAC посчитал, что в ходе работ это препятствие можно преодолеть, в то время как его коллега Р.Рут предложил новые конфигурации резонатора с использованием стоячих волн.

По обеим сторонам Тихого океана ведутся научно-исследовательские работы по продвижению в область частот X-диапазона (11.4 ГГц) на основе схемы, использующей очень мощные клистроны. Периодическая магнитная фокусировка в последних позволяет получить микросекундные импульсы мощностью 70 МВт.

В ЦЕРНе существует собственный план создания линейного электрон-позитронного коллайдера. Он известен как схема CLIC, в которой для ВЧ-питания применен драйверный ускоритель вместо обычных клистронов. На стенде STF-2 использованы преобразующие структуры, генерирующие мощность 100 МВт при частоте 30 ГГц. Это позволит изучить, в какой мере главный линейный ускоритель может выдерживать ускоряющие поля больше $60 \text{ МВ}\cdot\text{м}^{-1}$. Ожидается, что проект конструкции будет в основном подготовлен к 2005 г.

В подводящем итоге докладе А.Скринский из новосибирского ИЯФ высказал мнение, что для «передовой» («frontier») установки могут быть выбраны несверхпроводящие резонаторы, работающие при частоте S-диапазона (3 ГГц), несмотря на опасность угрозы пробоев при $60 \text{ МВ}\cdot\text{м}^{-1}$.

Директор Немецкого электрон-синхротронного центра DESY (Гамбург) А.Вагнер сообщил, что можно добиться энергии столкновения электронов и позитронов в 500 ГэВ, используя достигнутый уровень ускоряющих полей $23.4 \text{ МВ}\cdot\text{м}^{-1}$. Энергия в 800 ГэВ будет получена, если удастся гарантировать градиент напряжения в сверхпроводящих резонаторах на уровне $35 \text{ МВ}\cdot\text{м}^{-1}$ и более, что возможно при тщательной электрополировке поверхности резонаторов.

Руководитель проекта Большого адронного коллайдера в ЦЕРНе Л.Еванс рассказал об основательных работах, уже сделанных на PS (протонном синхротроне), который будет служить форинжектором в LHC. Эстафета подготовки пучка теперь переходит к следующему звену инжекционной цепочки в LHC, а именно к SPS (суперпротонному синхротрону). По графику создания LHC в 2004 г. планируется провести испытания по секторам, в 2005-м — охладить основное кольцо до температуры 2 К и в 2006 г. запустить установку LHC.

Новый ускоритель в группе коллайдеров RHIC (релятивистский ускоритель тяжелых ионов) заработал в прошлом году в Брукхейвене (США) и уже выдал первые научные результаты. Д.Ловенстейн сообщил, что энергия столкновения ионов в ближайшее время достигнет проектной величины 200 ГэВ на нуклон. Для получения ускоренных поляризованных протонов будет использована магнитная структура, известная как «сибирская змейка». Другой планируемой работой на установке RHIC станет применение линейного ускорителя электронов с энергией 52 МэВ в целях охлаждения пучка тяжелых ионов, чтобы увеличить светимость (52 МэВ — значение энергии электронов, соответствующее пучкам ионов в RHIC с энергией 100 ГэВ на нуклон).

Начался новый сеанс работы протон-антипротонного коллайдера «Теватрон» в Национальной лаборатории им.Ферми (Батавия, США), где в конечном счете светимость должна достигнуть уровня $5 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Для собирающего кольца антипротонов в ближайшее время планируется использовать электронное охлаждение.

Ведутся разговоры о втором (в отдаленном будущем) этапе LHC-II в ЦЕРНе на новых магнитах, которые создают удвоенное по сравнению с теперешним значение магнитного поля. В то же время в лаборатории им.Ферми рассматриваются различные варианты VLHC, чтобы достигнуть энергии столкновения на уровне 40 ТэВ (для сравнения: в LHC — это 16 ТэВ). Длина кольца для VLHC оценивается в диапазоне от 100 до 500 км, в зависимости от используемой величины отклоняющего магнитного поля.

Относительно новая идея об использовании мюонных пучков в качестве интенсивных источников нейтрино уже вызвала к жизни ряд предложений, о которых сообщил А.Ломбарди из ЦЕРНа. В этих проектах планируется использовать промежуточные протонные

синхротроны с энергией 2.2 ГэВ в ЦЕРНе, 15 ГэВ в Батавии, 24 ГэВ в Брукхейвене и 50 ГэВ в Японии. Схема ЦЕРНа предусматривает создание сверхпроводящего протонного линейного ускорителя, который может также служить новым инжектором для цепочки синхротронов. В Японии рассчитывают на новый протонный синхротрон, разрабатываемый по недавно одобренному проекту КЕК/JAERY. Однако всеобщий энтузиазм относительно идеи создания фабрик нейтрино в настоящее время сдерживается отсутствием адекватного финансирования.

Похоже, что разработка новых методов ускорения вышла на насыщение, когда обычные идеи исчерпали свои возможности, а новых соперничающих идей, чтобы встать на их место, нет. Непрерывное увеличение мощности лазеров может, однако, служить некоторой подсказкой. Как подчеркнул К.Лотов из новосибирского ИЯФ, высокие ускоряющие поля, существующие внутри плазменного сгустка, надо постараться распространить на большие расстояния.

В своем заключительном выступлении директор ЦЕРНа К.Хюбнер, ответственный за ускорительную проблематику, гордо заметил, что физики-«ускорительщики» имеют в своем послужном списке больше сделанного, чем обещанного. Он подчеркнул также, что всю аппаратуру надо «проверять, проверять и проверять», чтобы избежать разочарований, а удачи использовать в полной мере. Докладчик также рекомендовал с самого начала запрашивать адекватные ресурсы под новые проекты, чтобы не возникала необходимость в их последующем обосновании.

«Все заметные достижения в рассматриваемой области связаны с международным сотрудничеством, и очень важно традицию такого сотрудничества сохранить», — сказал Хюбнер. В той или иной форме HEACC будет фигурировать в списке ускорительных конференций и впредь. ■

ПРОЩАНИЕ С ВИКТОРОМ ЯКОВЛЕВИЧЕМ ФРЕНКЕЛЕМ

Виктор Яковлевич был частым и высокопочитаемым автором «Природы». Теперь, спустя годы после его ухода из жизни, многое видится яснее. Ему нет замены среди историков физики, и хочется склонить голову перед его талантом, трудолюбием и страстной увлеченностью своим делом. Предлагаемые очерки войдут в книгу, которая подготовлена Физико-техническим институтом им.А.Ф.Иоффе и уже близка к изданию. Редакция благодарит сотрудников института и Ольгу Владимировну Френкель за доброжелательность и помощь в работе над журнальным вариантом.

Наука в судьбах ее лидеров

Б.Б.Дьяков,

*кандидат физико-математических наук
Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург*

Виктор Яковлевич родился 23 февраля 1930 г. в Ленинграде, в семье выдающегося физика-теоретика Якова Ильича Френкеля. В 1953 г. он окончил Ленинградский политехнический институт (ЛПИ), и первые его научные работы относятся к области электроники, электронных приборов, электрической изоляции, физики плазмы, теории излучения. Свою трудовую деятельность он начал на заводе «Светлана» и в 1960 г. защитил в ЛПИ кандидатскую диссертацию «Тепловые расчеты электронных ламп».

С приходом в Физико-технический институт (Физтех)

им.А.Ф.Иоффе исследования Френкеля смещаются в область физики плазмы и теории конденсированного состояния. Спустя много лет (в 1981 г.) состоялась защита его докторской диссертации «Развитие представлений о физике конденсированного состояния». Ленинградская физическая школа. 1918–1941».

Поскольку творческая биография Виктора Яковлевича тесно связана с Физтехом, уместно в первую очередь подчеркнуть его заслуги как историка института. Его публикации о Физтехе, включая скромные по объему и внешнему виду брошюры, выходившие, как правило, по случаю «круглых

дат», сохранили бесценную мозаику событий, без которой теперь невозможно было бы представить себе жизнь института. Кстати, в ведущих физических журналах («УФН», «ЖТФ», «ФТП», «ФТТ», «Атомная энергия»), а также в «Вестнике РАН» и в «Природе» им опубликовано свыше 30 статей об институте и физтеховцах. Вообще же только в перечисленных журналах вышло (часто в соавторстве) более 70 его работ. В одном «УФН» это примерно 150 печатных страниц!

Другая область и другой жанр — это заслужившие широкую известность книги о науке и ученых. Им написаны фунда-



Виктор Яковлевич Френкель (1930—1997).

ментальные биографии его отца, Я.И.Френкеля (наиболее полная издана на английском языке в 1996 г.), П.С.Эренфеста (два издания), В.К.Фредерикса, П.К.Козловского, М.П.Бронштейна (русское и иностранное издание), Г.А.Гамова, А.А.Фридмана (русское и иностранное издание), Ф.Хоутерманса (издана посмертно), а также книги о важных и малоизученных периодах творческой деятельности И.В.Курчатова и А.Эйнштейна. Но, конечно, здесь нет возможности упомянуть все работы, которые выдвигали

Виктора Яковлевича в ряд ведущих и авторитетнейших историков физики и у нас в стране, и за рубежом.

Отметим интересную особенность: Френкель был, можно сказать, профессиональным знатоком жизни и творчества Пушкина. Среди его работ встречаются рецензии на исследования пушкинистов. Он настойчиво искал свидетельства об интересе поэта — несомненно образованнейшего человека своего времени — к науке и людям науки и высказал предположение о возмож-

ном знакомстве Пушкина с Лобачевским при посещении Казани в 1833 г.

К пушкинской линии творчества Френкеля относится яркая книга о Петре Борисовиче Козловском. Дипломат и литератор, знаток римских классиков, он профессионально разобрался в математических премудростях. В пушкинском «Современнике» он опубликовал две статьи: «Разбор парижского математического ежегодника на 1836 г.» и «О надежде» — по теории вероятностей.



Родители Виктора Яковлевича — Яков Ильич и Сарра Исаковна (так она выглядела в 1920 г.).



Братья Виктор и Сергей в 1935 г.

Виктор Яковлевич широко использовал письма ученых и их близких, дневники и воспоминания, как правило, ранее не публиковавшиеся или вообще не известные. Вот какие «пары» он составлял, собирая переписку и дневниковые заметки: П.С.Эренфест—А.Ф.Иоффе, А.Н.Крылов—С.Ф.Ольденбург, Б.Б.Голицын—П.Н.Лебедев, А.Ф.Иоффе—П.Л.Капица, А.И.Лейпунский—П.С.Эренфест.

Если, бывало, встретишь Виктора Яковлевича в любой день и в любом месте, то речь сразу же заходит о вещах, над которыми он в тот момент работал, о многочисленных замыслах и планах. Многодневные поиски фактов и документов, размышления, беседы и обсуждения находок подчас сводились к нескольким строкам примечания к своему или чужому тексту. Возьмем для примера сборник документов «Советский атомный проект» (1999), в котором есть существенный вклад Френкеля (к сожалению, он не увидел даже первого тома).

Виктор Яковлевич оставил большое творческое наследие, обогатившее нас знаниями о людях, творящих науку, и одновременно о социальной среде, которая формировала их судьбу. К величайшему сожалению, многое осталось в набросках. Среди прочего это новые страницы воспоминаний об отце, минимум две работы из задуманной им серии «Ошибки великих» (ошибка Иоффе, ошибка Х.Бёте и др.), заметки к очередным книгам «Советского атомного проекта», «научные портреты» членов физического семинара Иоффе в ЛПИ (1916 год)», очерк (или книга) об А.Вайссберге и перевод воспоминаний последнего... Но чтобы представить себе круг того, над чем намеревался

работать Виктор Яковлевич, назову еще несколько тем: «Курчатов, Бор, Капица, Гейзенберг — отношение к созданию бомбы» (к личности последнего он демонстрировал повышенный интерес, собрав неизвестные нашему читателю материалы и библиографию и оставив интереснейшие «заметки на полях», а о Боре, например, им были получены материалы слежки сразу нескольких разведок. Я.И.Френкель был участником конгресса в Комо (Италия), посвященного памяти А.Вольты (1927), и оставил интереснейшие воспоминания, которые хранятся в архиве Виктора Яковлевича. Известно, в частности, что именно на этом конгрессе, редко освещаемом в печати из-за патронажа Муссолини, Бор впервые представил свой принцип дополнителности.

В архиве Виктора Яковлевича обнаружилась подборка документов (включая фотографии, а также переписку по их поводу) о старшем Курчатове — Борисе Васильевиче, тоже сотруднике ФТИ в довоенные годы. Это, видимо, было еще одно материализованное следствие того интереса, который Френкель проявлял к его брату, и возник он в связи с работами о И.В.Курчатове.

Закончить же я хочу словами самого Виктора Яковлевича:

Есть несколько возможностей представления основных фактов истории науки. Одна из них — раскрытие так называемой «драмы идей». Это история той или иной значительной идеи в естествознании. Формулировка этой идеи на фоне состояния данной области науки, переживающей стадию относительного спокойствия в своем развитии. История столкновения идей, успехов и поражений новых

идей, новые экспериментальные факты. Последние могут быть получены на основе предсказаний, получаемых в результате развития теории, или поставлены независимо от нее. Это столкновение идей персонафицируется в жизни и деятельности лидеров соответствующих направлений. От борьбы идей берет начало борьба их творцов, «борьба людей», часто сильно идеологизируемая. Существует при этом и социальный аспект этой борьбы, конкуренция школ и т.п.

Другой путь связан с представлением идеи, ее разработки, ее генезиса и первых успехов (но и поражений) на основе научной биографии автора этой идеи. Снова нельзя, конечно, оставить без внимания все те составляющие, о которых говорилось в первом варианте. Это и научный фон, на котором проходило формирование ученого, выдвинувшего эту идею. Это и взаимодействие и столкновение школ и направлений. Но этот путь предоставляет большую свободу рассказа о истории культуры и науки того или иного времени, истории, которая конкретизируется и выявляется на примере событий жизни ЧЕЛОВЕКА во времени, пространстве, социальном и научном окружении.

Мне представляется, что этот путь более интересен и уместен в курсе истории культуры и науки, истории общества.

В связи с этим в истории науки мне хотелось на первое место поставить рассказ о людях, связанных с прогрессом науки, с ее кардинальными достижениями.

Именно таким путем шел Виктор Яковлевич Френкель... ■

«О Физтехе он знает все...»

П.Е.Рубинин

Институт физических проблем им.П.Л.Капицы РАН

Однажды мне понадобилась книга М.С.Соминского «Абрам Федорович Иоффе». В библиотеке Института физических проблем этой книги не оказалось, и я обратился к Александру Иосифовичу Шальникову. Он мне ее принес, но предупредил:

— Книга хорошая, но в ней встречаются неточности. Единственный человек, который все знает об Иоффе и Физтехе, — это Виктор Яковлевич Френкель. Но он живет в Ленинграде...

Я сказал, что знаком с ним.

— Вот к нему вы и обращайтесь, если вам нужно узнать что-то о Физтехе, — сказал Шальников. — О Физтехе он знает все...

Этот разговор мне вспомнился, когда мы с Френкелем готовили к печати переписку Капицы и Семенова.

В 1996 г. журнал «Природа» к 100-летию со дня рождения Николая Николаевича Семенова решил выпустить специальный номер. Такой же, как «капицынский» в 1994-м и «таммовский» в 1995-м. Я рассказал в редакции, что в архиве Капицы хранятся автографы и ксерокопии писем, которыми он и Семенов обменивались начиная с весны 21-го. Петр Леонидович в тот год надолго уехал в Англию. Сразу же возник вопрос: кто будет комментировать письма Семенова, насыщенные массой подробностей о первых, самых трудных годах питерского Физико-технического института? И кто напишет

вводную статью? Решили, что нужно немедленно звонить Френкелю в Петербург. Виктор Яковлевич согласился.

Работали мы так. Я «расшифровывал» и перепечатывал письма, написанные от руки, и снимал ксерокопии с ранее перепечатанных писем. Писал комментарии к письмам Капицы. Из редакции вся готовая «продукция» курьером отправлялась в Петербург. Этот же курьер на обратном пути доставлял в редакцию комментарии Френкеля. Финансовое положение двух институтов — ФТИ и ИФП — было таково, что по телефону я с Френкелем говорить не мог (его телефон в институте был отключен — чтобы, не дай Бог, не тратились казенные деньги!). По электронной почте тоже связи не было... Виктор Яковлевич написал прекрасную статью о Семенове и Капице «Параллели», которая предвзято их переписку, и очень содержательные примечания.

Я подсчитал недавно: Виктор Яковлевич написал тогда, за очень короткий срок, 106 развернутых примечаний к письмам Семенова и Капицы!

Шальников был прав: о Физтехе он знал все!

Когда потрясение, вызванное сообщением о смерти Виктора Яковлевича, прошло, все, кто был причастен к «семеновскому» номеру «Природы», невольно подумали: что бы мы делали, если бы он ушел от нас раньше? Скорее всего, этой публикации просто не было бы... Центральной, кстати, публикации того юбилейного номера.

Не помню уже, когда мы познакомились. Дело в том, что познакомились мы постепенно, если можно так выразиться. Я начал работать у Петра Леонидовича Капицы в Институте физических проблем, его референтом, летом 55-го. И первое мое знакомство с Виктором Яковлевичем было заочным — по телефону или в переписке. На некоторые его письма Петру Леонидовичу отвечал я. Вот почему в переписке Капицы с Френкелем есть и письма Виктора Яковлевича ко мне. Есть и его письма к Анне Алексеевне, жене Капицы. Иной раз Виктору Яковлевичу проще было написать мне. Или Анне Алексеевне. С Анной Алексеевной у него к тому же была и *своя*, совершенно отдельная переписка. Ведь Анна Алексеевна была не только женой Капицы, но и дочерью знаменитого механика и кораблестроителя Алексея Николаевича Крылова. Это был человек *сам по себе* замечательный. И к Виктору Яковлевичу она относилась с большой теплотой...

Первые мои письма (середина 60-х) уныло официальные: «Товарищу В.Я.Френкелю... Глубокоуважаемый Виктор Яковлевич... Петр Леонидович поручил мне передать...» А у Виктора Яковлевича письма всегда были неформальные и всегда почти от руки... Он легко писал. Писал — как говорил...

Первое «деловое» письмо Виктор Яковлевич написал Капице, когда приступил к работе над книгой об Эренфесте.



В гостях у Петра Леонидовича Капицы. 1976 г.

Вот это письмо:

Ленинград, 14.I.1967 г.

Дорогой Петр Леонидович,
около двух лет тому назад я напомнил Вам о шутовском замечании, сделанном Вами моему отцу, Якову Ильичу Френкелю. Вы сказали ему — вероятно, по поводу какой-либо, только что вышедшей статьи: «Ты был бы гениален, если бы опубликовал в 10 раз меньше!» Я включил это замечание в свою книгу об Якове Ильиче [1], но когда был в Москве, чтобы согласовать с друзьями и коллегами отца записанные с их слов рассказы, Вас не было в Москве. Поэтому в книге эта фраза вложена в уста «одного из близких друзей — научных коллег Якова Ильича».

После выхода книги в свет (экземпляр ее я Вам незамедлительно направил, и, надеюсь, Вы его получили) агентство печати «Новости» предложило мне написать об отце небольшую — страниц на 7—8 машинописи — статью. Я охотно принял это

предложение и только что кончил статью. В нее я вновь включил Вашу оценку (говоря о романтическом складе творчества Якова Ильича и об его нежелании и неумении сосредоточиться на одной-двух кардинальных проблемах, как это характерно для ученых-классиков). На этот раз мне хотелось бы сослаться на Вас непосредственно.

Я был бы очень признателен, если бы Вы написали мне о том, что не возражаете против этого (замечание Ваше находится в статье в том же контексте, что и в книге, см. с.399). В противном случае я вернусь к «книжной» зашифровке автора этого замечания. (Статья ближайшую неделю — 10 дней будет у редактора АПН).

Дорогой Петр Леонидович, кроме этого у меня имеется к Вам еще одна очень большая просьба — отнюдь не срочного характера. Закончив книгу об отце, я, почувствовав вкус к такого рода работе, решил написать небольшую книжку

о П.С.Эренфесте*. Проспект этой книги одобрен Атомиздатом; издательство включило книгу в свои планы. Я сейчас усиленно собираю материалы к биографии Эренфеста, роюсь в ленинградских архивах (не вполне безуспешно), встречаюсь в Ленинграде с людьми, знавшими Павла Сигизмундовича.

В «Новом мире» за прошлый (1966-й) год я с большим удовольствием прочел Ваш прекрасный доклад о Резерфорде (первое приближение к нему, доклад 1937 г., я читал в «Успехах» и раньше и выдержку из него включил в книгу об Якове Ильиче)**. Вы рассказали на страницах «Нового мира» об участии Резерфорда в судьбе Эренфеста и вообще очень

* Эренфест Пауль (Павел Сигизмундович) (1880—1933), физик-теоретик. Родился в Вене. В 1907 г. переехал в Петербург, где занимался педагогической работой и вел физический семинар. С 1912 г. профессор Лейденского университета.

** Оба доклада: «Мои воспоминания о Резерфорде» (Новый мир. 1966. №8) и «Воспоминания о профессоре Э.Резерфорде» (УФН. 1938. Т.19. С.2) вошли в книгу научных трудов Петра Леонидовича [2].



Виктор Яковлевич с родителями. 1949 г.

тепло написали о Павле Сигизмундовиче. Из Вашего доклада я понял, что у Вас сохранились его письма (все письма — доверенные — к Якову Ильичу, включая письма Эйнштейна, Эренфеста, Дирака, Борна и др. — погибли во время блокады; у меня ныне есть только копия одного письма Эренфеста, отправленного из Лейдена в 1932 г., и пересланная его дочерью, Татьяной Павловной).

Я хотел спросить — не согласились ли бы Вы ознакомить меня с выдержками из этих писем Эренфеста к Вам — с тем, чтобы с Вашего согласия я мог бы использовать их в будущей книге? Я хочу просить Вас, далее, поделиться, если это возможно, Вашими живыми воспоминаниями об этом своеобразном человеке.

Я буду очень признателен Вам за ответ и, если он будет положительным, надеюсь на

Ваше согласие уделить мне немало Вашего времени, когда я очередной раз буду в Москве.

С искренним уважением,
Ваш Виктор Френкель.

По своему обыкновению Петр Леонидович ответил без задержки.

26 января 1967, Москва
Дорогой Витя,
я получил Ваше письмо от 14 января, а также книжку о Яше, которую с большим удовольствием просмотрел.

Отвечаю на Ваши вопросы.

1. Не возражаю, если Вы напишете, что я сказал Яше приведенную Вами фразу, потому что это действительно так.

2. Сочувствую написанию книги об Эренфесте. У меня сейчас приведена в порядок часть его писем — те письма, которые касаются нашей с ним деятельности по вызволению из

гитлеровской Германии ученых-евреев*. Когда будете в Москве, мы свяжемся, и я Вам их покажу.

Привет.

Ваш П.Капица.

Проходит несколько лет, и Виктор Яковлевич пишет Капице еще одно «деловое» письмо. На этот раз — по поводу издания трудов своего отца в серии «Классики науки»:

Ленинград, 12 декабря 1971 г.

Дорогой Петр Леонидович,

Вы были так добры, что согласились поддержать на заседании Редколлегии «Классиков науки» идею издания трудов Якова Ильича в этой серии. Я

* С этими письмами Виктор Яковлевич был ознакомлен, но не использовал ни в первом, ни во втором издании его книги об Эренфесте (1971, 1977). По-видимому, в те годы «еврейский вопрос» был в нашей стране «не для печати». Даже если речь шла и о гитлеровской Германии.

был уверен, что вопрос этот будет обсуждаться на ближайшем заседании Редколлегии, которое состоится в пятницу 17-го декабря. Хотя моя уверенность в этом сейчас и поколебалась (мне передавали, что Петровский* намерен рассмотреть этот вопрос позднее), я все же надеюсь, что предложение будет высказано именно 17-го. Об этом я просил Александра Наумовича Фрумкина**, который будет на заседании. Он высказал мнение, что если на заседании будете и Вы, то, поставив этот вопрос вместе с Вами — и при условии Вашего выступления в поддержку, — можно надеяться на его благополучное разрешение. Мне бы этого бесконечно хотелось, тем более,

* Петровский Иван Георгиевич (1901—1973), математик, академик, с 1951 г. — ректор МГУ.

** Фрумкин Александр Наумович (1895—1976), физикохимик, академик.

что я глубоко уверен в том, что тем самым Якову Ильичу — правильнее сказать, конечно, его памяти — будет воздано должное...

Выписка из протокола заседания редколлегии «Классики науки» АН СССР.

17 декабря 1971 г.

Председательствовал академик И.Г.Петровский.

IV. Текущие вопросы.

1. Я.И.Френкель. Избранные труды (В.Я.Френкель).

Просить академика П.Л.Капицу дать заключение о целесообразности издания в серии «Классики науки».

Капица — Петровскому

Председателю Редколлегии серии

«Классики науки» АН СССР академику И.Г.ПЕТРОВСКОМУ 29 декабря 1971 г.

Глубокоуважаемый Иван Георгиевич,

в ответ на запрос Редколлегии серии «Классики науки» от 17 декабря 1971 г. сообщаю, что я поддерживаю издание Избранных трудов Я.И.Френкеля в серии «Классики науки».

Следует отметить, что Я.И.Френкель был физиком с необычайным богатством идей, ряд из которых сыграли фундаментальную роль в развитии современной науки. Выбрать из большого количества его научных работ эти работы будет, несомненно, очень ценно и важно как для развития современной науки, так и для воспитания научной молодежи.

Прошло почти 20 лет со дня смерти Я.И.Френкеля, и сейчас настало время, когда можно дать правильную оценку значимости его работ и выбрать те из них, которые следует опубликовать в Избранных трудах.



В гостях у внучки и праправнука Пауля Эренфеста. Голландия, 1991 г.

Из книг Я.И.Френкеля наибольший интерес представляет книга о конденсированном состоянии, которую также следует переиздать.

Уважающий Вас,
П.Л.Капица.

Книга Я.И.Френкеля «Кинетическая теория жидкостей», изданная в серии «Классики науки», стоит на полке в библиотеке П.Л.Капицы. В тяжелый том вложен листок бумаги — письмо Френкеля-сына, отправленное с книгой из Ленинграда 2 июля 1975 г. Вот несколько строк из этого письма:

Дорогой Петр Леонидович, в середине мая вышла «Кинетическая теория жидкостей» Якова Ильича. Я немного задержал высылку Вам экземпляра этой книги, в издании которой Вы нам так помогли, чтобы она была Вами получена ко дню Вашего рождения — в качестве небольшого подарка от Сережи (брата Виктора Яковлевича. — П.Р.) и от меня.

Еще раз спасибо Вам за хлопоты и содействие!

Я уже говорил, что у Виктора Яковлевича была своя, отдельная, переписка с Анной Алексеевной. Вот одно из его писем к Анне Алексеевне середины 70-х годов. Копий писем Анны Алексеевны к Виктору Яковлевичу в личном архиве Капиц не сохранилось. Дело в том, что близким людям, а Виктор Яковлевич был одним из них, Анна Алексеевна писала всегда от руки и копий не оставляла. Капица же, напротив, обладая ужасающим почерком и двумя секретарями (Анна Алексеевна — дома, и я — в ИФП) всегда оставлял копии для архива...

Френкель — Анне Алексеевне
Л-д, 14.II. 75

Дорогая Анна Алексеевна,
около месяца тому назад я разговаривал с академиком Дмитрием Сергеевичем Лиха-

чевым (он — отв. редактор серии «Литературные памятники»); среди многих прочих дел он организовал выпуск ежегодника «Памятники старины; новые открытия» (по-моему, я не ошибся в названии). Я не помню, как у нас зашла речь об Алексее Николаевиче, но он с большим энтузиазмом предложил мне подготовить публикацию, посвященную Вашему отцу, взяв за основу какие-либо из его неопубликованных писем и прокомментировав их, а также написав что-либо об их языке.

Я после этого разговора прочел, во-первых, статью акад. Орлова, опубликованную в 1946 г. [3] (и перепечатанную в «Воспоминаниях об А.Н.Крылове» в 1958 г.), а также в Архиве АН СССР просмотрел перечень писем Алексея Николаевича. Сравнив его с тем, что опубликовано в книге «Рукописное наследие акад. А.Н.Крылова», я увидел, что туда не вошли письма к жене Алексея Николаевича, Вашей матери — Елизавете Дмитриевне (за 1884—1915 гг.), Филатову* и целому ряду лиц.

Я хотел бы задать Вам, если можно, несколько предварительных вопросов — с тем, чтобы обсудить их с Вами, когда я буду в Москве, а также уточнить кое-что, в первом приближении, по телефону из Ленинграда.

Не возражали ли бы Вы против просмотра семейной переписки? Разумеется, я ни в малейшей мере не буду на Вас в обиде, если Вы не сочтете это возможным; более того, я прошу Вас извинить меня, если, задав этот вопрос, я проявил невольную бестактность. В случае если Вы дадите свое согласие на отбор материала из этой части переписки, да и любых других писем, я, разумеется, ни слова не напечатая, не согласовав этого с Ва-

* Филатов Владимир Петрович (1875—1956), офтальмолог и хирург; академик АН Украины и АМН. Родственник А.Н.Крылова.

ми. (Как Вы, может быть, помните, на таких же, разумеется, выполненных мною условиях я опубликовал в «Успехах физ. наук» фрагмент из писем Н.Н.Семенова к Петру Леонидовичу)**.

Как Вы относитесь к идее публикации в целом? Я был потрясен обилием хранящегося в фонде Алексея Николаевича материала, хотя имел об этом представление, т.к. в свое время напечатал в «Новом мире» рецензию на «Рукописное наследие», так что вроде бы знал об этом.

Просматривая «Воспоминания» об Алексее Николаевиче, я наткнулся еще на один документ, чрезвычайно меня заинтересовавший. Оказывается, Алексей Николаевич в Париже, в 1925 г., принимал участие в переговорах с наследниками А.Ф.Онегина***, владельца огромного пушкинского архива, завещанного Пушкинскому музею. А меня очень интересуют связи Пушкина (даже, так сказать, «посмертные») с учеными — представителями точных наук. Соединение же его имени с такой мощной и колоритной фигурой, каким мне (да и всем) представляется Алексей Николаевич, — особо притягательно. Не знаете ли Вы что-либо об этой части деятельности Алексея Николаевича?

Я был рад узнать от Павла Евгеньевича, что Вы и Петр Леонидович хорошо отдохнули в Кисловодске и хорошо себя чувствуете. Мы все тоже здоровы. Я много работаю, по-моему, с интересными вещами и в широком диапазоне времен и лиц (от папы до Пушкина!).

** Речь идет о выдержке из письма Семенова Капице от 25 марта 1922 г. [4]. Полностью это письмо напечатано в журнале «Природа» [5].

*** Онегин-Отто Александр Федорович (1845—1925), коллекционер, создал в Париже Пушкинский музей, коллекции которого по соглашению, официально подписанному в Париже в 1909 г., передал Пушкинскому Дому. Об участии Крылова в окончательном оформлении этой передачи в 1927 г. рассказано в книге В.Н.Баскакова [6].

Договорился о книге о Козловском* — дело, в котором Петр Леонидович оказал мне важную поддержку!

Пожалуйста, кланяйтесь Петру Леонидовичу и всем Вашим. В начале марта я позвоню Вам и надеюсь в конце марта повидаться.

Сердечно Ваш
Витя**.

Мы часто встречались за обеденным столом в доме у Капиц, когда Виктор Яковлевич приезжал в Москву. Иногда он звонил мне откуда-то из города, чтобы уточнить время обеда у Петра Леонидовича. Потом он записал это время в своей телефонной книжечке. Об этом он рассказывает в своих воспоминаниях о Петре Леонидовиче. Капицы относились к нему с большим вниманием и радовались его появлению у них дома. Для них он был Витей, сыном их друга молодых лет. Близким, родным человеком. Таким же он был и для Семеновых и Харитонов, которых навещал, когда бывал в Москве и если позволяло время...

Виктор Яковлевич обязательно привозил с собой в Москву пару ленинградских анекдотов. Он знал, когда Петр Леонидович войдет в столовую и займет свое место во главе стола, напротив Анны Алексеевны, первое, что он скажет, будет: «А что новенького, Витя, в Ленинграде? Анекдоты новые есть?» У Капицы была необыкновенная память на анекдоты. Он помнил все, что слышал когда-то, и рассказать ему свежий анекдот было нелегко. Помню, я даже радовался, чуть ли не чувство гордости испытывал, когда мне удавалось рассказать ему что-нибудь, чего

* На подаренном Капице экземпляре следующая надпись: «Дорогому Петру Леонидовичу — крестному отцу этой маленькой книжечки — с большой признательностью и новогодними приветами. Виктор Френкель. Ленинград, 15.XII.78».

** На конверте этого письма, в верхнем правом углу, рукой Анны Алексеевны красным карандашом написано: «Важное».



С Анной Алексеевной Капица. 1994 г.

он не слышал. Человек деликатный, он никогда не говорил рассказчику, что анекдот ему уже известен, но его глаза и натянутый смех были достаточно красноречивы. А память у него на анекдоты, как я уже сказал, была феноменальная. Однажды за столом он вспомнил первый анекдот, услышанный им от Яши Френкеля в студенческие годы!.. (Он никогда не говорил «Яков Ильич», всегда — «Яша».) И рассказал его Виктору Яковлевичу.

Я в тот же вечер дома записал этот анекдот, но, к сожалению, так пока и не нашел ту старую записку...

Виктору Яковлевичу не раз, как читатель мог уже заметить, приходилось выступать в не очень приятной роли просителя.

Жизнь была так устроена в нашей стране, что человек, который хотел напечатать книгу (и даже статью!), должен был иметь влиятельных покровителей. Виктор Яковлевич прихо-



Юлий Борисович Харитон и Виктор Яковлевич на балконе дачи в Усть-Нарве. 1977 или 1978 г.

дил к Капицам обычно совершенно «бескорыстно». Но иногда и ему все-таки приходилось заводить с Петром Леонидовичем после обеда «деловой» разговор.

Когда речь шла о чем-то достаточно серьезном, Капица с Френкелем поднимались на второй этаж, в кабинет Петра Леонидовича.

Надо сразу сказать, что Петр Леонидович был далеко не тем благодушным старым академиком, который готов «подмахать» любое письмо, любое ходатайство, заготовленное посетителем. Каждое письмо, требующее его подписи, он читал внимательно и обязательно вносил поправки.

Нет поэтому ничего удивительного в том, что бывали слу-

чай, когда замыслы Френкеля вызвали у Капицы возражение. Один такой случай мне хорошо запомнился. К тому же он еще и «документирован».

Виктор Яковлевич загорелся идеей написать книгу о мало кому известной области творческой деятельности Эйнштейна — его изобретениях. Петру Леонидовичу замысел Френкеля не понравился. Я присутствовал при их разговоре. Виктор Яковлевич с Капицей не спорил, больше молчал, а Петр Леонидович сердился. Сердился, наверное, потому, что чувствовал — Френкеля ему убедить не удастся...

Проходит некоторое время, и Капица получает письмо от директора Атомиздата. Тот просит его «высказать свое мнение о целесообразности

издания» предложенной Френкелем книги. Той самой — об Эйнштейне-изобретателе. Вот ответ Капицы:

*17 апреля 1978, Москва
Директору Атомиздата
Тов. В.А.Кулямину*

Глубокоуважаемый Виталий Александрович,

я получил Ваше письмо с просьбой высказать мнение о целесообразности издания книги В.Я.Френкеля и Б.Е.Явелова «Изобретатель Альберт Эйнштейн».

Хотя я считаю В.Я.Френкеля квалифицированным автором, но в данном случае я не могу поддержать его предложение о публикации подобной книги.

Эйнштейн — один из самых выдающихся ученых и мыслителей нашего столетия. В этом никто не сомневается. Но его изобретательская деятельность ничего сама по себе не представляет. Большинство его изобретений сделано в соавторстве с кем-нибудь. Происходило это потому, что он знал всю патентную технику, был добрым человеком и всем помогал. Об этом мне рассказал его соавтор Л.Сцилард. Но сказать, что среди его изобретений были бы такие, которые достигали хотя бы среднего уровня, — нельзя. Этого не было.*

Конечно, в его биографии об этом роде его деятельности следует упомянуть так же, как о том, что он любил играть на скрипке. Об этом можно написать статью для журнала. Но не книгу.

Это свое мнение я уже сообщил в беседе Виктору Яковлевичу Френкелю.

*С уважением,
П.Л.Капица.*

Виктора Яковлевича отношение Капицы к его идее ни в малой степени не охладило, и он

* Рассказ о Сциларде-изобретателе содержится в письме Капицы Г.М.Маленкову от 3 марта 1944 г. [7].



Поль Дирак с супругой Маргит в гостях у Виктора Яковлевича и Ольги Владимировны. Ленинград, 1973 г.

с увлечением продолжал работать над книгой вместе с московским физиком и историком науки Явеловым.

Их книга «Эйнштейн — изобретатель» вышла в свет в 1981 г. в издательстве «Наука». Помню, Виктор Яковлевич советовался со мной — дарить ему эту книгу Капице или — воздержаться. По-видимому, я посоветовал воздержаться. (Я хорошо знал письмо Капицы в Атомиздат, поскольку сам его печатал — под диктовку.) Во всяком случае в библиотеке Петра Леонидовича этой книги нет. Но мне Виктор Яковлевич ее прислал. С теплой дарственной надписью. Подарил он мне и второе издание, переработанное и дополненное, и озаглавленное несколько иначе [8].

Рассказал я эту историю прежде всего для того, чтобы показать, насколько Виктор Яковлевич в своей творческой работе был самостоятелен и независим.

Петр Леонидович скончался 8 апреля 1984 г., не дожив трех месяцев до своего 90-летия. Анна Алексеевна, которая неотступно провела рядом с ним две недели в реанимационной палате, слегла с инфарктом миокарда. Юбилей Капицы в институте отмечали торжественно и грустно. Юбилейным этот вечер назвать было трудно, это был скорее вечер памяти только что ушедшего от нас большого ученого и человека, основателя и многолетнего руководителя института. Последним в тот вечер довелось выступить мне. У Анны Алексеевны, после того как она вышла из больницы, я получил несколько папок писем Капицы к матери. Его письма из Кембриджа. Многие письма были пронизаны тоской и болью по погибшей семье. (Зимой 1919/20 года Капица в течение месяца потерял отца, сына, жену и новорожденную дочь.) Я под-

готовил для своего выступления небольшую подборку писем... Организаторы вечера первоначально дали мне двадцать минут. Я попросил полчаса. А читал я письма молодого Капицы и комментировал их минут сорок... При полной тишине зала.

На этом вечере был и Виктор Яковлевич, которому я заблаговременно послал в Ленинград пригласительный билет. О своих впечатлениях он написал Анне Алексеевне.

Ленинград, 14 июля 84 г.

Дорогая Анна Алексеевна,

9 июля Вы были окружены плотным кольцом близких Вам людей, так что я не сумел подойти к Вам еще раз, чтобы сказать, какое сильное впечатление произвел на меня вечер памяти Петра Леонидовича: начиная с выставки фотографий и портретов и кончая кульминацией — чтением его писем. Как и у многих присутствовавших и моих соседей,

Юры и Таты Харитон*, в частности, — местами у меня буквально болело сердце, и горький спазм сжимал горло. Я думал в эти минуты не только о Петре Леонидовиче, но и о Вас: каких душевных сил Вам стоило сохранять внешнее спокойствие и выдержку, всех нас восхищающую!

Как правильно Вы сделали, что поручили подготовку писем — к прочтению, а потом и изданию — Павлу Евгеньевичу. Он и прочел их прекрасно. Если мне было бы позволено дать Вам совет, я бы сказал, что ни в коем случае не следует передавать сокровища писем в чужие руки, даже доброжелательным журналистам. Тем более что есть Вы, есть Сережа и Андрей** (прекрасно подготовивший книгу «Воспоминаний» Алексея Николаевича и снабдивший ее таким достойным и темпераментным предисловием). Ну, и в круг семьи Капица, конечно, отношу и Павла Евгеньевича.

Сегодня утром я сидел и правил статью для издаваемого сборника работ А.Ф.Иоффе [9]. <...> И вдруг Оля позвала меня к телевизору: она случайно включила его не с самого начала, а с того момента, когда Юлий Борисович (Харитон. — П.Р.) рассказывает об эпизоде Капица — Вуд [10]. Конечно, мы с неослабевающим вниманием просмотрели весь фильм***. Он создан с большим вкусом, интересен. Так приятно, хотя и грустно, видеть Петра Леонидовича, вспоминать встречи с ним, как бы снова оказываться в вашем доме, его кабинете в Институте, актовом зале, идти по дорожке, ведущей к дому — такому гостеприимному и в буквальном смысле открытому (я не припомню раза, ког-

да бы дверь была заперта, хотя и неизменно пользовался звонком).

Недели три тому назад я был на конференции в Казани, ходил по университету, зашел во дворик (со стороны ул. Чернышевского, теперь она называется — Ленина), где справа, сразу за воротами, стоит дом, в котором Вы жили во время войны. Я помню, какое впечатление на меня, 11-летнего мальчика, произвела комната Сережи и Андрея, похожая на купе — с верхней «полкой», на которой спал Сережа. (Для меня в то время романтика дальних путешествий в незначительной степени определялась возможностью поспать на верхней полке). А потом я вспоминал Вас, вечером, оказавшись во дворе Петропавловской церкви, о которой мы говорили чуть ли не в последний мой приход к Вам зимой этого года. Я сейчас очень жалею, что, боясь злоупотребить Вашим и Петра Леонидовича гостеприимством, не всякий раз, бывая в Москве, звонил Вам и неизменно получал приглашение прийти — к 13.30, «как обычно»! Тем отчетливее мне запомнились эти встречи. <...>

Вместе с Олей сердечно желаем Вам здоровья и душевных сил.

Всегда Ваш
Витя.

В архиве Анны Алексеевны хранится папка с письмами Виктора Яковлевича. Иногда он писал Анне Алексеевне от руки, иногда — пользуясь пишущей машинкой.

Вот одно из этих писем.

Ленинград, 23.VII.87

Дорогая Анна Алексеевна, сегодня получил Ваш подарок — книгу Петра Леонидовича [11] — с глубоко тронувшей меня надписью. Спасибо Вам большое. Встречи в Вашем доме — это праздник, который всегда со мной. Часто их вспоминаю и обращаюсь к ним в моих мыслях.

Сейчас я много работаю над книгой об А.А.Фридмане — и снова встречаюсь с близкими мне, а многократно более — Вам, именами. Вы же, наверное, помните, какую роль сыграл Петр Леонидович в издании сочинений Фридмана в серии «Классики науки». Но и Алексей Николаевич имел к Фридману прямое отношение. В его архиве (в Ленинграде) сохранилось письмо-рекомендация Фридману, которое тот представил на физико-механический факультет Политехнического института. Кроме того, Алексей Николаевич знал Фридмана по работе в Геофизической обсерватории. Наконец, я думаю, что именно через Алексея Николаевича Фридман был в 1920 г. приглашен в Морскую академию. В поисках соответствующих материалов я третьего дня — в который раз! — обратился к «Воспоминаниям» Алексея Николаевича <...> а, начав читать, долго не мог от них оторваться: как умно, остро, какой сочный язык!

Вы, наверное, отдыхаете на даче, так что это письмо не скоро до Вас дойдет.

Примите от нас с Олей самые сердечные приветы, пожелания хорошего отдыха, радости от детей и внуков (кажется, уже и правнуков?).

Еще раз спасибо за книгу.

Искренне Ваш В.Ф.

Р.С. Книгу «Эксперимент. Теория. Практика» я сразу по ее появлении в продаже купил, но как раз дней десять тому назад подарил одному американцу. Подумывал на днях купить себе новую, а тут как раз пришла Ваша бандероль!

В.Ф.

А я тем временем все больше и больше становился коллегой Виктора Яковлевича. Даже книга, которую он получил от Анны Алексеевны — «Эксперимент. Теория. Практика» (4-е, уже посмертное, издание), была, по всем советским законам, «внедрена» мною в план изда-

* Юрий Николаевич Семенов (сын Н.Н.Семенова) и его жена Татьяна Юльевна Харитон.

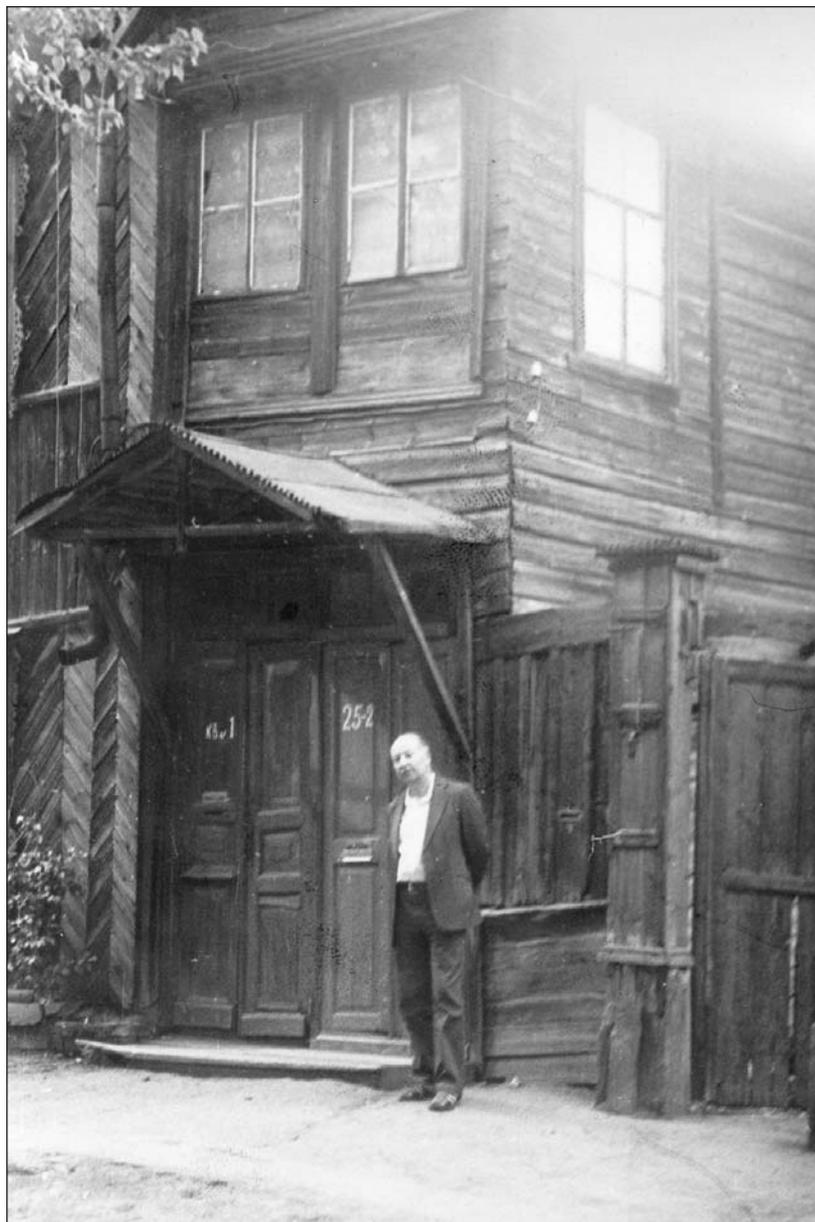
** Сергей Петрович и Андрей Петрович Капицы.

*** Речь идет о телевизионном фильме «Рассказы про Петра Капицу» В.Викторова и Л.Николаева.

тельства, а затем дополнена двумя статьями, которые нам не удавалось ранее напечатать, и полной библиографией трудов Петра Леонидовича. Началась моя новая работа с того юбилейного вечера, о котором Виктор Яковлевич писал Анне Алексеевне. Письма Капицы к матери, с которыми я ознакомил в тот день участников торжественного собрания, произвели столь сильное впечатление на слушателей, что ко мне подошли работники некоторых изданий с просьбой подготовить их публикацию. Подборки писем Капицы были напечатаны в «Природе», в сборнике «Пути в неземное» и в «Новом мире»... В «Химии и жизни» я опубликовал в 1985 г. отчеты Капицы о его кислородных работах... Вот так, в какой-то степени волею судьбы, я становился историком науки (вернее, биографом и публикатором *одного* ученого), учеником и младшим собратом Виктора Яковлевича... С огромным, по сравнению с ним, дефектом — я был гуманитарием. И по образованию (переводчик), и по складу ума. Гуманитарием я был настолько безнадежным, что таковым и остался до сего дня, хотя и проработал в Институте физических проблем 45 лет.

В 1985, 1986 и 1987 гг. я несколько раз бывал в Ленинграде по приглашению Физтеха и Дома литераторов. Устраивал эти поездки по большей части Френкель. Я рассказывал в разных аудиториях о жизни Капицы и читал его письма. Работал в ленинградских архивах... Иногда я бывал у Виктора Яковлевича дома, познакомился с его милыми домочадцами... До сих пор с волнением вспоминаю мой последний визит в этот гостеприимный и хлебосольный дом, разговор с Ольгой Владимировной. Это было в 1994-м, в год 100-летних юбилеев Капицы и Якова Ильича Френкеля...

Виктор Яковлевич немного меня опекал — как младшего



У дома в Казани (ул.Шмидта, 25), где семья Френкелей жила во время Великой Отечественной войны. Фото 1995 г.

товарища. (Хотя я и был старше его по возрасту.) Однажды он спросил меня, не хотел бы я «остепениться», защитить кандидатскую диссертацию. В этом деле он готов был оказать мне всяческое содействие. (Он пользовался большим авторитетом и влиянием в кругу историков науки.) Я был тронут предложением Виктора Яковлевича, но вынужден был отка-

заться. Я поблагодарил его и сказал, что не тот у меня возраст, чтобы тратить время и нервы на бесконечные формальности, без которых ни одна защита не обходится. Лучше бросить оставшиеся силы на работу, на публикации писем и рукописей Капицы, на исследование некоторых страниц его жизни... Виктор Яковлевич меня понял.



С Павлом Евгеньевичем Рубининым на Международном симпозиуме. Дубна, 1996 г.

Однажды я получил от него письмо, где он с похвалой отзывался о моей статье в «Природе». До сих пор помню, как мне это было приятно. Книгу писем Капицы, с его отчаянно смелыми посланиями Сталину и другим вождям страны, которую мне удалось издать на заре перестройки, в 1989 г., Френкель подарил американскому историку науки и политологу Дэвиду Холлоуэю. И тот опубликовал во влиятельном еженедельном книжном обозрении «The New York Review of Books» большую рецензию под выразительным заголовком: «Ученый и тиран».

В Москве Виктор Яковлевич, у которого всегда была масса дел в редакциях журналов и в издательствах, заходил иногда ко мне, в мою «архивную» комнату в Музее Капицы. Бывал он и у меня дома.

Помню два доверительных разговора с ним. Они касались его отца, к увековечению памяти которого он относился с трогательной сыновней заботой. Ему трудно было понять, почему Яков Ильич, избранный членом-корреспондентом Академии наук в 1929 г., так до своей кончины в январе 1952-го не был из-

бран действительным членом Академии. Он объяснял это кознями Л.Д.Ландау*. И он спросил меня, не думаю ли я, что Ландау мог повлиять на Капицу, когда стал работать в его институте, и тогда их общее противодействие избранию Якова Ильича могло стать непреодолимым. Я сказал, что Капица в таких делах решал всегда сам, никаким влияниям не был подвержен, но беда в том, что у него самого Яков Ильич вызывал иногда раздражение. Это видно по письмам Капицы жене в Кембридж 1934—1935 гг. Капица был яростным противником совместительства, а Яков Ильич вынужден был работать в самых разных местах и много писать, в частности, и по соображениям сугубо прозаическим: чтобы прокормить семью. Капица, только

* Виктор Яковлевич знал, несомненно, о письме Ландау Нильсу Бору от 25 ноября 1931 г., в котором он просил оказать содействие в избрании Г.А.Гамова действительным членом Академии наук. Ландау писал: «Многие очень этому противятся, особенно Иоффе, который саму эту идею назвал смехотворной и даже утверждает, что зарубежные ученые (особенно Вы) считаете Френкеля (!) значительно более крупным теоретиком. Это юмористическое утверждение весьма плохо прикрывает истинные причины». (Архив Нильса Бора.)

что прибывший в СССР из Англии, где был прекрасно обеспечен, не мог понять жизнь в родной стране и часто неверно судил о своих советских коллегах... Уже после кончины Виктора Яковлевича я разговаривал с сотрудниками Ландау, с его учениками. Теперь и они признают, что Лев Давидович и его школа были несправедливы к Я.И.Френкелю... Не будем, однако, забывать, что в те годы вопрос о выборах в Академию наук решался зачастую не в Академии, а в Политбюро ЦК ВКП(б) и в Совнаркомоме...

Второй разговор, помню, меня особенно поразил. В те дни я подбирал материалы к докладу о конфликте Капицы с Берией, о его скандальном уходе из атомного проекта. И вдруг однажды Виктор Яковлевич мне говорит, что не может понять, почему его отца не привлекли к работе над атомной бомбой. Кто не хотел его участия в атомном проекте? Власти, НКВД — или более молодые коллеги, которые в этом проекте играли ведущую роль? И он привел одно важное житейское обстоятельство, которое не приходило мне тогда в голову, — участники атомного проекта были так хорошо материально обеспечены, что ни о какой дополнительной работе могли не думать. И кто знает, будь Яков Ильич в атомном проекте, может быть, он не умер бы так рано...

Френкель — Анне Алексеевне. Последнее письмо...

30.XII.95 [Санкт-Петербург]
Дорогая Анна Алексеевна,
был очень, очень рад, получив Ваше письмо. Оно застало меня на финише моей работы над комментированием переписки между Петром Леонидовичем и Николаем Николаевичем. Очень интересные письма, а вот сама работа оказалась почему-то гораздо более трудной. Скажем, мне было легче комментировать переписку Петра Леонидовича с Гамовым

[12] и с Иоффе [13]. М.б., просто дело в объеме переписки?

Я к концу года много работал и сделал почти все намеченное. Самая большая работа — это о Хоутермансе. Передал в журнал около 100 стр. машинописи — это половина книги. Вторую половину сделать будет куда проще, тем более, что она будет состоять из очень красноречивых документов. А они говорят сами за себя! Трудности в том, чтобы найти издателя [14]*.

Мы с Олей встречаем Новый год в большой тревоге за будущее страны, а значит, и за будущее детей и самих нас. Есть партия «Выбор России», но выбор самой России удручающ. Около половины голосов избирателей отдано экстремистским партиям, представители которых сделают новую Думу еще более реакционной, чем ее предшественница. Так что ничего хорошего я от наступающего года не жду и сомневаюсь теперь, можно ли в Россию верить, как когда-то надеялся Гютчев. Беспокоит нас неустроенность наших, уже отнюдь не молодых, детей. Тате будет 40 лет (внуку Андрюше — 7,5); она поменяла профессию, стала преподавательницей английского языка в школе, зарабатывает гроши. Хорошо, что у нее работающий и,

* Книга вышла уже после кончины В.Я.Френкеля.

как теперь говорят, «умеющий крутиться» муж, да и мы у нее пока что еще имеемся.

Еще больше тревог вызывает Яша. Он тоже круто поменял профессию. Года два тому назад ушел из Ин-та цитологии, уже будучи студентом 2-го курса вечернего факультета истории в Ун-те. Очень увлечен археологией, три летних сезона (по 3 месяца) провел в экспедициях. Учится блестяще (не могу не похвастаться!), на последнем его докладе его назвали «надеждой петербургской школы археологии». Но... не работает, очень от этого страдает. Год проработал в Восточном отделе Эрмитажа, но <...> трудно ему было совмещать такую работу с занятиями. Мы ведь живем в Лесном. Чтобы поехать в Эрмитаж, ему надо было уходить из дому в 9 утра; работа кончалась в 17, а в 19 начинались лекции, домой было не поспеть (чтобы нормально пообедать). В результате он возвращался в 12 ночи — в половине первого, совершенно измочаленный от усталости.

Что с ним случится, если нас не станет? Мы думаем об этом просто с ужасом.

Конечно, случается в нашей жизни и хорошее, не все так мрачно. Я в заканчивающемся году дважды выезжал за границу, много и не без успеха работал в Германии, а потом — в Дании. Набрал массу матери-

ала и теперь стараюсь воплотить его в «печатную» форму.

А в Москве бывать совершенно перестал, уж очень это дорогое удовольствие, а у Ин-та денег на командировки нет. <...>

Желаю Вам — от своего и Олиного имени — здоровья, душевного спокойствия, радости от детей, внуков (правнуков?).

Ваши очень искренне,
Витя.

* * *

Мы виделись с Виктором Яковлевичем в последний раз в Дубне, в мае 1996 г., на Международном симпозиуме по истории советского атомного проекта. На одном из первых заседаний мы сидели рядом, и нас сфотографировала Наталья Евгеньевна Завойская...

В этот же день вечером мне сообщили из Москвы, что накануне, 14 мая, скончалась Анна Алексеевна... Мой доклад был в программе следующего дня. Я попросил поставить его одним из первых, чтобы сразу же уехать в Москву. Виктор Яковлевич позвонил мне в номер гостиницы и попросил зайти к нему. Мы молча посидели, потрясенные смертью Анны Алексеевны. Потом он передал мне письма с соболезнованиями Сергею и Андрею, сыновьям Анны Алексеевны, своим ровесникам, друзьям юных лет...

Это была наша последняя встреча. ■

Литература

1. Френкель В.Я. Яков Ильич Френкель. М.; Л., 1966.
2. Капица П.Л. Научные труды. Наука и современное общество. М., 1998.
3. Орлов А.С. Академик А.Н.Крылов — знаток и любитель русской речи // Вестник АН СССР. 1946. №1.
4. Френкель В.Я. Пятьдесят лет ФТИ им.А.Ф.Иоффе // Успехи физ. наук. 1968. Т.96. С.534.
5. Из переписки Н.Н.Семенова с П.А.Капицей // Природа. 1996. №3—4. С.79—80.
6. Баскаков В.Н. Пушкинский Дом. Л., 1988.
7. Капица П.Л. Письма о науке. М., 1989. С.211—212.
8. Френкель В.Я., Явелов Б.Е. Эйнштейн — изобретения и эксперимент. М., 1990.
9. Френкель В.Я. А.Ф.Иоффе — страницы биографии // Иоффе А.Ф. О физике и физиках. Л., 1985. С.10—26.
10. Харитон Ю.Б. Жить и не творить он не мог // Петр Леонидович Капица: Воспоминания. Письма. Документы. М., 1994. С.55—56.
11. Капица П.Л. Эксперимент. Теория. Практика. 4-е изд. М., 1987.
12. Переписка Г.А.Гамова и П.Л.Капицы // Успехи физ. наук. 1994. Т.164. №8. С.880—887.
13. Переписка А.Ф.Иоффе с П.Л.Капицей // Чтения памяти А.Ф.Иоффе. 1993—1995. СПб., 1996. С.46—66.
14. Френкель В.Я. Профессор Фридрих Хоутерманс: работы, жизнь, судьба. СПб., 1997.

Его отличало интеллектуальное благородство

Профессор Д.Холлоуэй
Станфордский университет

От своих высокообразованных родителей Виктор Яковлевич Френкель унаследовал любовь к музыке, искусству, литературе и, конечно, любовь к науке. Его отец, Яков Ильич Френкель, выдающийся физик-теоретик, знал лично многих знаменитых физиков Европы и Америки. Его биография, опубликованная Виктором Яковлевичем в 1966 г., — удивительный портрет человека, в не меньшей степени чем ученого, на социальном и политическом фоне, окружавшем его жизнь и работу.

Виктор Яковлевич был весьма энергичным исследователем и умелым и плодовитым автором. Именно его творчество способствовало нашему пониманию развития физики 20-го столетия и, в частности, освещению одного из самых значительных и влиятельных научных сообществ — физиков Советского Союза. Возможно, находясь под влиянием семейных традиций, он воспринял широкий взгляд на историю физики. Он писал о физике не только как о науке, но о физиках как сообществе, их взаимовлиянии и их отношениях с обществом и государством, в котором они жили. Кроме того, он проявлял глубокий интерес к тем связям, которые существовали между русскими физиками и их коллегами из остального мира.

В конце 70-х годов я начал знакомиться со статьями Виктора Яковлевича и его книгами. Я интересовался развитием ядерной физики и созданием ядерного оружия в Советском Союзе, и он стал для меня наиболее интересным историком советской физики как раз того времени и тех тем, которые имели отношение к моим исследованиям. Особенно ценными я считал его работы о Физико-техническом институте, из которого вышли многие ведущие физики, создававшие ядерное оружие. Вообще его работы отличались тщательностью, детальностью и информативностью и, по самому строгому счету, описывали тот исторический контекст, в котором существовала физическая наука. Поэтому я мечтал встретиться с ним.

Наша первая встреча состоялась в марте 1985 г. С коллегами из Станфордского университета я был в Институте востоковедения в Москве, а перед поездкой из Станфорда написал Виктору Яковлевичу о своей заинтересованности во встрече с ним. Институт востоковедения организовал мое путешествие в Ленинград. Я и сейчас четко помню наш первый разговор, состоявшийся в Физико-техническом институте. Виктор был тепло и дружески расположен и очень помог мне. Он показал мне комнату в институте, где ранее была

лаборатория Курчатова, подарил несколько книг и препринтов, а также рекомендовал другие книги, изданные в Советском Союзе. Мы договорились о следующей встрече в тот же день, чтобы продолжить беседу, но эта вторая встреча оказалась очень короткой, поскольку Виктор Яковлевич должен был участвовать в траурном митинге. Мы встретились уже в тот день, когда Горбачев стал Генеральным секретарем ЦК КПСС, и наше дальнейшее сотрудничество и дружба развивались в контексте гласности и событий, происходивших в постсоветской России.

Двумя днями позже мы снова встретились в отеле, где я остановился, и беседовали в течение двух часов. При первой нашей встрече я передал ему отклик своей статьи о решении советского руководства создать атомную бомбу, и теперь он прокомментировал ее. Он советовал мне продолжить начатую работу и в течение длительного времени оказывал огромную помощь. Он был благородным человеком и охотно предоставлял возможность пользоваться своими энциклопедическими знаниями о советской физике. Он сам был колоссальным источником для тех, кто изучал историю физики в Советском Союзе. Нужно еще сказать о нем как о превосходном собеседнике — живом рассказчике, пере-

© Д.Холлоуэй

С Юрием Николаевичем
Смирновым, Дэвидом Холлоуэем
и Георгием Николаевичем
Флеровым. 1989 г.



полненном информацией, с огромным запасом занимательных историй.

Мы встречались в Москве в декабре 1985 г. и потом в июне 1987 г. в Ленинграде. Один случай я вспоминаю с огромным удовольствием. Мы встретились в 10 часов вечера и гуляли по Ленинграду в течение трех часов, разговаривая на множество тем, включая историю города и политическую ситуацию в Советском Союзе. Ленинград был прекрасен этой июньской ночью, а Виктор Яковлевич был превосходным гидом, влюбленным в свой город. Он сжился с его историей, особенно интеллектуальной и художественной, и показал мне, среди многого другого, дома Набокова и Ахматовой. Он всю свою жизнь прожил фактически в одном районе Ленинграда и не мог понять, как это люди стремятся переезжать из города в город и в другие страны.

Он предложил мне пообедать у него дома, где я впервые встретился с его супругой, Ольгой Владимировной, и его детьми. Жорес Алферов, только что назначенный директором Физико-технического института,

также присутствовал на этом вечере. Я помню, что мы говорили о фильмах, книгах и политике. Это был удивительный вечер, а Виктор Яковлевич и его семья — гостеприимны и теплы.

Я вспоминаю о подобной же встрече в марте следующего года. В Ленинграде происходила конференция, посвященная Вернадскому, в которой мы оба принимали участие. (Виктор Яковлевич любезно перевел короткий доклад, в котором я рассказал об интересе Вернадского к атомной энергии, и устроил его публикацию.) И снова он пригласил меня к себе домой. Я вспоминаю, что за столом мы много говорили о политике, Горбачеве и его значении в российской истории. К этому времени уже стало ясно, что в стране происходят глубокие перемены, но еще неясно было, куда эти перемены приведут. Это было время надежды на свободное общество, но также и опасений относительно направления политического развития.

В марте 1988 г. Виктор Яковлевич сказал мне об открывшихся возможностях выезжать за границу. Вместе с Питером

Галлисоном, возглавлявшим курс истории науки в Станфорде, я пригласил его приехать к нам в декабре 1988 г. Он провел два семинара по истории советской физики и встретился со многими станфордскими учеными. Мы интересно побеседовали с историком Александром Даллиным и физиками Сиднеем Дреллом и Вольфгангом Панофски. Френкель работал в архиве Гуверовского института и Станфордской библиотеке, отбирая материал для своих проектов. Он также собрал коллекцию материалов, которые были недоступны в Советском Союзе. Я помню, что предоставил ему копию книги Александра Вайсберга «Обвиняемый», в которой детально описывались чистки в Украинском физико-техническом институте в Харькове в 30-е годы. Он не видел прежде этой книги и провел ночь, читая ее. Мы также побывали в различных местах на побережье Сан-Франциско-ской бухты. Однажды вечером Виктор Яковлевич отправился с моим семейством в Сан-Франциско, и мы проехали через город на трамвае, распевая рождественские песни. Мы были



В кругу семьи: Виктор Яковлевич, дочь Татьяна со своим сыном Андрюшей, сын Яков, Ольга Владимировна. 1989 г.

чрезвычайно довольны. Надеюсь, и он тоже, хотя для него происходящее было весьма необычным.

Новая политическая обстановка оказалась чрезвычайно важной для исследований Виктора Яковлевича и его литературной деятельности. В Советском Союзе до эпохи гласности было невозможно свободно писать о социальном и политическом контексте науки. Положение начало меняться в конце 80-х. Многие стороны советской истории — включая историю советской физики — до этого были под запретом, а теперь их стало возможно изучать. Начали открываться российские архивы, стало легче выезжать за границу для научной работы. Виктор Яковлевич стре-

мился как можно полнее использовать открывающиеся возможности и вел энергичные поиски новых источников в России, Европе и Соединенных Штатах.

Большая часть того, что Виктор опубликовал после конца 80-х, относилась к темам и людям, о которых он не мог писать раньше. Ярким примером может служить его книга о Матвее Бронштейне (написанная в соавторстве с Геннадием Гореликом); другой такой пример — книга о Хоутермансе. Важной чертой его работ было то, что они всегда базировались на свидетельствах очевидцев в форме писем, официальных документов и мемуаров. На этой богатой документальной базе создавались его полные жизни и инте-

ресные для чтения сочинения, а он непрерывно пополнял их новым материалом.

Одним из примеров, свидетельствующих о доступности к новым материалам, был прекрасный очерк об отце, который опубликован Виктором Яковлевичем в «Звезде» в 1991 г. В нем он рассказал о тех сторонах жизни отца, которых он не мог раньше касаться — а в каком-то смысле и не знал об их существовании в то время, когда писал упомянутую выше книгу об отце. Очерк имеет подзаголовок «Портрет гражданина» и хронологически описывает осложнения, возникшие у его отца с советской властью. В конце Виктор Яковлевич пишет о доброжелательности своего отца и о его роли в создании

такого морального климата, который способствовал процветанию физики в Советском Союзе в 40–50-х — несмотря на многочисленные препятствия. Он восхищался добротой отца, его цельностью и мужеством и видел в нем образец, которому надо следовать. Моральные установки отца сильно повлияли на его собственный взгляд на науку. Он считал физику не только полем профессиональной деятельности, но и общностью людей, которые могли работать только в благоприятном для них моральном климате. И неудивительно, что Виктор Яковлевич держался именно такой точки зрения. Он сам был личностью, человеком чести, и эти качества проявлялись в его работах — и в том, как он использовал источники, которые он выбирал, и в его суждениях о людях. Его работы отражают убеждение, что для понимания физики необходимо изучать сообщество физиков, его нормы и образцы для подражания.

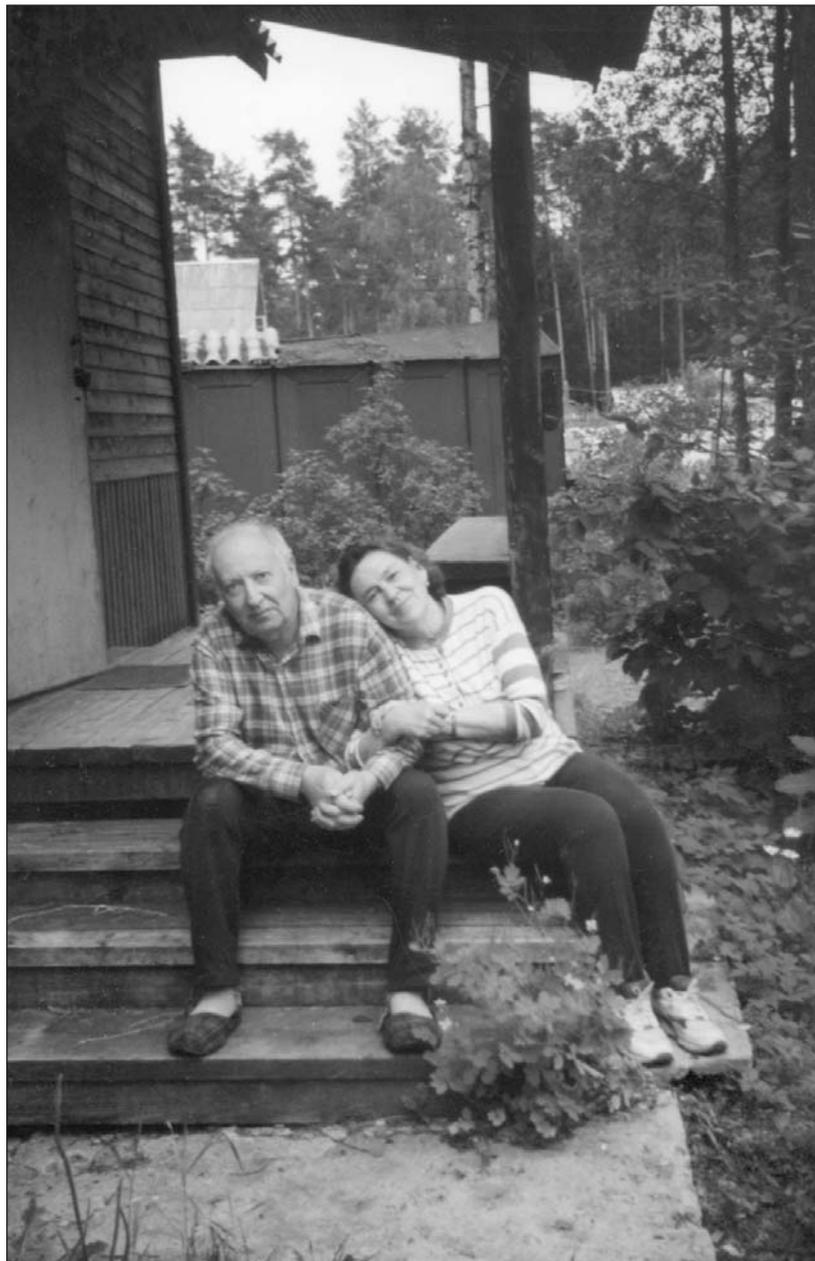
Любопытный факт, который повторяется в биографиях отца, — это неучастие Я.И.Френкеля в советском атомном проекте, хотя он был выдающимся теоретиком и написал одну из первых фундаментальных работ по теории деления ядра. Мы несколько раз обсуждали, почему так случилось. У него не нашлось достоверного объяснения. Он раньше сожалел, как рассказывал мне, что его отец не участвовал в проекте, но теперь рад этой его непричастности к созданию ядерного оружия.

В своем творчестве Виктор Яковлевич уделил много внимания отношениям между российскими физиками и их западными коллегами. Этот интерес отразился, например, в его работах об Иоффе и Эренфесте, о контактах Нильса Бора с советскими физиками, о Георгии Гамове и Фридрихе Хоутермансе. Тесные связи, существовавшие между российскими и иностранными физиками в первой

трети 20-го столетия, были нарушены нацизмом и сталинизмом, второй мировой войной и холодной войной. Кое-какие связи сохранились посредством физических журналов и писем, но личные контакты были весьма не частыми в период с середины 30-х до середины 50-х. Изучая связи, существовавшие в начале столетия, Виктор Яковлевич подчеркивал роль, которую советские физики играли

как часть интернационального сообщества, несмотря на то, что на какое-то время это сообщество оказалось разделенным.

После поездки Виктора Яковлевича в Станфорд в 1988 г. наши встречи продолжились в Москве и Ленинграде. Он устроил мне приглашение от Физико-технического института в октябре 1990 г. Вместе мы посетили Радиевый институт и, как всегда, продолжили наши



На даче с Ольгой Владимировной. 1994 г.



Одно из последних фото. 1996 г.

интересные беседы об истории физики и о политической ситуации в Советском Союзе. Оптимизм 1988 г. угас, популярность Горбачева резко падала. Люди испытывали боязнь, что политические игры повернут вспять курс реформ. Оказавшись в США в октябре 1992 г., Виктор снова дней на десять приехал в Станфорд. Он сделал доклад на нашей небольшой конференции по ядерной физике и ядерному вооружению. Мы съездили в Монтерей вместе с Игорем Яковлевичем Головиным, который тоже принимал участие в конференции. Посетили Эдварда Теллера в его доме при Станфордском университете. Я помню озабоченность Виктора Яковлевича тем холодным приемом, который оказал Теллер Головину во время этого визита.

Мы провели вместе неделю в Дубне в мае 1996 г. на конференции по истории советского атомного проекта. Это была примечательная встреча, на которой

были представлены доклады тех людей, которые непосредственно участвовали в проекте. Позднее, летом того же года, мы с женой приехали в Санкт-Петербург и были тепло встречены Виктором Яковлевичем и Ольгой Владимировной. Вскоре после этого я снова приехал в Санкт-Петербург и несколько дней был их гостем. Виктор Яковлевич и Борис Дьяков переводили мою книгу «Сталин и Бомба» на русский язык, и мы обсудили различные моменты перевода. Я помню день, когда мы приехали на семейную дачу, где хорошо потрудились над переводом, пока Ольга Владимировна работала в саду. Я сохранил огромную благодарность Виктору Яковлевичу за то, что моя работа пришла к русскому читателю. Он оказал мне большую помощь в написании книги. Это касается не только источников и специальной информации. Наши многочисленные беседы позволили мне найти путь к пониманию совет-

ской физики и физиков в более широком интернациональном контексте. После лета 1996 г. я его больше не видел.

В течение многих лет мы переписывались и обменивались книгами и статьями, но он был лучшим корреспондентом, чем я. Меня всегда удивляло, как быстро он писал — и письма, и статьи, и книги. У него была замечательная память и широчайший кругозор. Он собирал множество материалов и представлял их анализ в очень легкой и хорошо воспринимаемой форме. Он проделал огромную работу в освещении истории физики в Советском Союзе и, следовательно, внес значительный вклад в наше понимание физики XX в. Я очень счастлив, что знал его и работал с ним, чему много способствовали его доброта и благородство. Я счастлив, что имел огромное удовольствие быть его собеседником. ■

© Перевод с английского
Б.Б.Дьякова

Формирование донных осадков в районе гибели «Титаника»

Ю.А.Богданов, А.М.Сагалевич, В.Н.Лукашин

Затонувшее в 1912 г. судно «Титаник» находится на глубине 3789 м у подножия континентального склона Северной Америки, на юго-западном окончании подводного хребта, вытянутого в юго-восточном направлении от Большой Ньюфаундлендской банки (41°44'с.ш., 49°57'з.д.). Детальные геолого-геофизические исследования в этом районе начали в 1985 г. ученые Института морских исследований Франции (ИФРЕМЕР) с картирования поверхности дна локатором бокового обзора. Затем исследования продолжила канадско-французская экспедиция на борту судна «Гудзон». Было проведено сейсмопрофилирование осадочной толщи и получены колонки донных осадков [1]. Параллельно работали ученые Вудс-Холлского института (США). На судне «Норр» с помощью буксируемых аппаратов «Арго» и «Ангус» с фото- и видеокамерами они осмотрели поверхность дна и обнаружили затонувший корабль, а в 1986 г. на судне «Атлантис II» с глубоководным обитаемым аппаратом «Алвин» обследовали его.

Отечественное научно-исследовательское судно «Академик Мстислав Келдыш» с двумя глубоководными обитаемыми



Юрий Александрович Богданов, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН. Участник многочисленных российских и международных океанологических экспедиций. Погружался в глубоководных аппаратах в район гибели «Титаника» и полей черных курильщиков. Область научных интересов — морская геология.



Анатолий Михайлович Сагалевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией научной эксплуатации глубоководных обитаемых аппаратов того же института. С 1990 г. — бессменный начальник экспедиций на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш». Как командир аппаратов «Мир» и «Пайсис» совершил более 200 погружений, проведя около 2000 часов под водой.



Вячеслав Николаевич Лукашин, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник того же института. Участник многочисленных океанологических экспедиций, начальник геологического отряда в последних рейсах судна «Академик Мстислав Келдыш». Круг научных интересов — морская геология и геохимия.

© Ю.А.Богданов, А.М.Сагалевич,
В.Н.Лукашин

аппаратами «Мир» на борту начиная с 1991 г. совершило в районе гибели «Титаника» семь коммерческих рейсов, в которых небольшая группа ученых сумела провести всесторонние океанологические исследования — гидрофизические, биологические, геологические.

Уже первые рекогносцировочные работы показали, что в районе «Титаника» образование донных осадков и современных форм рельефа происходит под влиянием направленного на север интенсивного вдоль-склонового течения, которое стали именовать контурным, а формирующиеся при этом отложения — контуритами [2]. Такие специфические донные отложения служат достаточно надежными критериями для распознавания некоторых структурных элементов океанического дна. Находки их аналогов в древних осадочных разрезах

могут быть использованы для палеореконструкций.

На огромных пространствах скорости придонных течений не превышают нескольких сантиметров в секунду. Поэтому зональность питания океана осадочным материалом и его дальнейшее изменение отражаются в зональности состава донных отложений.

Однако в некоторых районах Мирового океана на больших глубинах существуют достаточно устойчивые придонные течения, скорости которых порой достигают нескольких десятков сантиметров в секунду. Наиболее впечатляющие течения развиваются вдоль склонов континентальных окраин. В Атлантическом океане формирующиеся у Антарктики плотные воды движутся на север вдоль континентального склона Южной Америки, а затем и южной части Северной Америки. На-

встречу им перемещаются североатлантические глубинные воды, также прижатые к подножию континентального склона Северной Америки. Основная масса глубинных североатлантических вод распространяется на юг от очагов своего образования (Норвежского, Гренландского и Лабрадорского морей) несколькими путями, в том числе и с Западным пограничным глубинным течением, идущим вдоль склона континента. Именно это течение, воды которого формируются в арктических льдах Атлантики, представляет собой важнейшую часть глобальной климатической системы — термохалинной (обусловленной различной соленостью и плотностью вод) циркуляции. Изменение климата планеты в прошлые эпохи нередко рассматривается как следствие изменения процессов, формирующих глубинные североат-

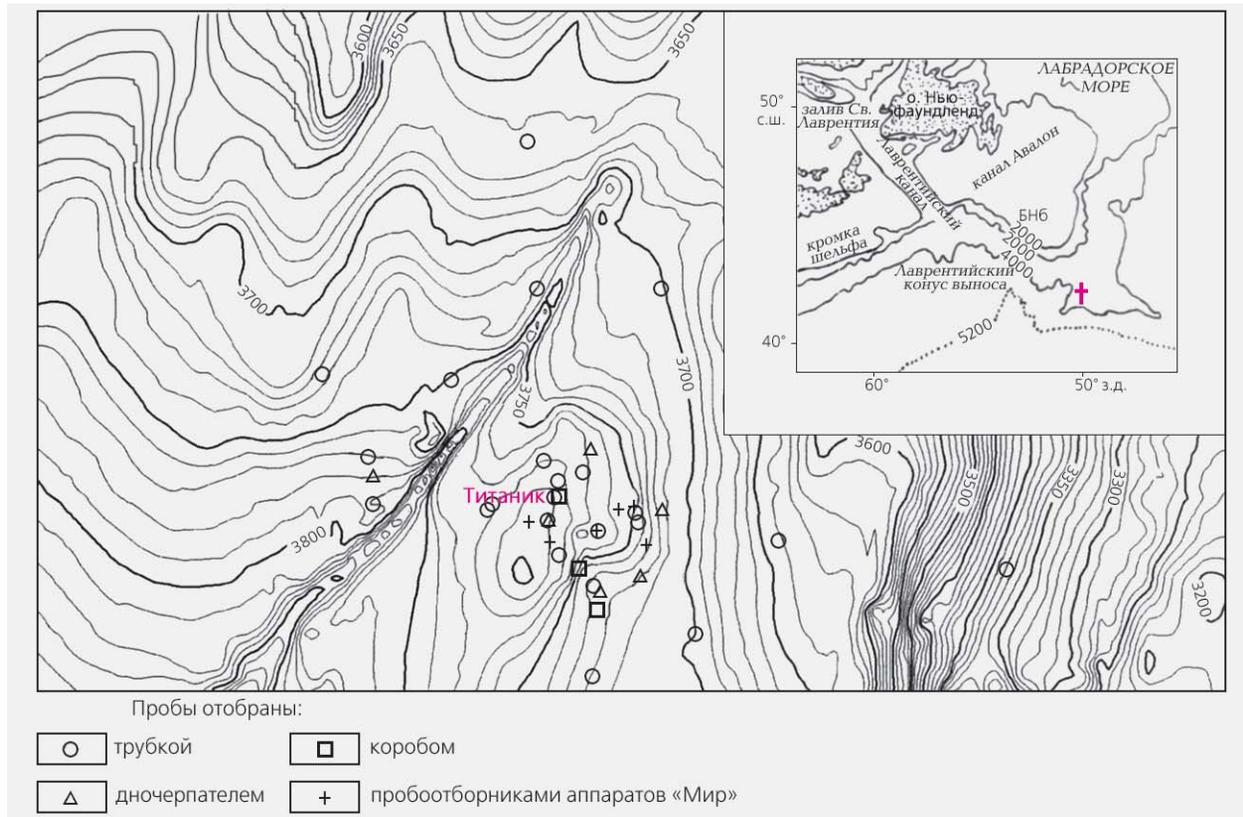


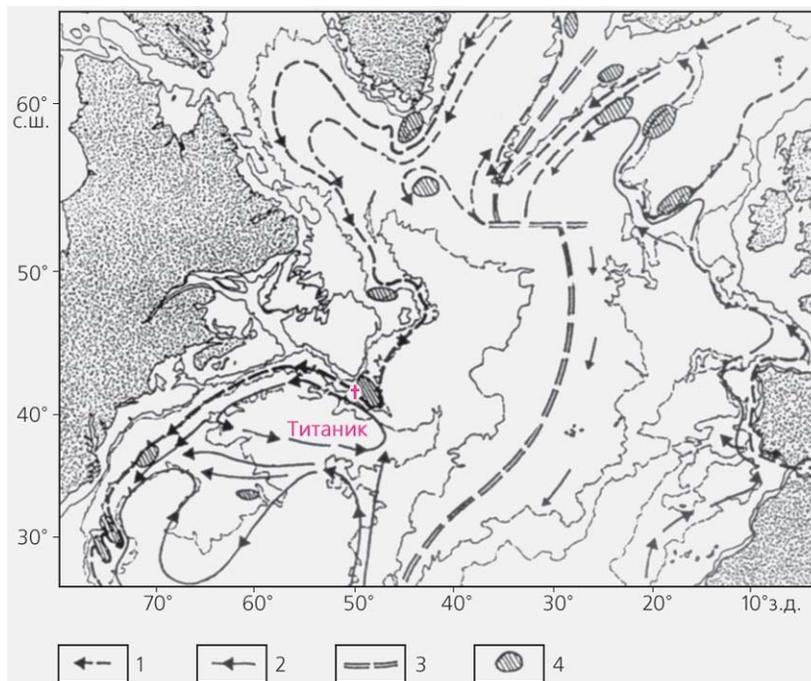
Схема положения точек отбора донных осадков на полигоне Титаник. На врезке — основные структурные элементы поверхности вокруг Большой Ньюфаундлендской банки (БНБ).

лантические воды. В районе Большой Ньюфаундлендской банки скорости перемещения глубинных вод иногда очень высоки. Так, к юго-западу от полигона Титаник, у подножия континентального склона Северной Америки, на глубине 4800–4900 м под Гольфстримом обнаружены течения со скоростями до 73 см/с, интенсивно воздействующие на поверхность дна [3]. Концентрация взмученного осадочного материала в придонных водах достигает 12 мг/л, т.е. почти в 100 раз превышает концентрацию взвеси в фоновых водах.

При высоких скоростях вдольсклоновых течений создаются условия, когда вещество не осаждается на дно, а ранее накопленные отложения размываются, и в геологическом разрезе формируются перерывы в осадконакоплении. При более низких скоростях осадочный материал сортируется в зависимости от гидравлической крупности частиц. Течения переносят на большие расстояния огромные массы вещества, а при уменьшении скоростей отлагают их, формируя осадочные хребты — дрифты. В Северной Атлантике дрифты начали образовываться с олигоцена, т.е. со времени усиления глубоководной циркуляции.

Мы остановимся на исследованиях процессов осадконакопления в условиях интенсивных вдольсклоновых течений и формирования специфических осадочных отложений, в том числе и контуритов.

При геологических работах применялись дночерпатели и ударные грунтовые трубки. Во время погружений глубоководных аппаратов использовались специальные пробоотборники. Для описания морфологии поверхности дна проводилось специальное погружение. Кроме того, были просмотрены все видео- и фотоматериалы, полученные при подводных работах аппаратов.



Глубинная циркуляция в северной части Атлантического океана и положение гигантских контуритов по [9]. 1 — североатлантические глубинные воды; 2 — антарктические донные воды; 3 — срединно-океанические хребты и трансформные разломы; 4 — контуриты.

Седиментационные провинции

В пределах исследованного полигона перепад глубин составляет более 900 м — от 3000 до 3900. В центральной части находится прорезанная мутьевым потоком эрозионная долина Титаник. Она ориентирована с северо-востока на юго-запад. Глубина тальвега в южной части составляет около 3950 м, в северной — 3750 м. На западе располагается континентальный склон. Часть его сформирована огромным оползнем, перемещенным вниз десятки тысяч лет назад. К востоку от долины находится склон крутизной около 0,5°, который принадлежит уже подводному Ньюфаундлендскому хребту, образованному как структура трансформного разлома около 120 млн лет назад.

Главный источник терригенного материала в данном районе — прилегающие шельфовые участки. При этом вещество по-

ставлялось как в результате ледового и айсбергового разноса, так и в результате переотложения донных осадков, накопленных ранее на шельфе и верхней части континентального склона.

Здесь выделяются несколько питающих провинций, в пределах которых эродирован принципиально разный материал [4]. Широкий участок континентального шельфа, получивший название Большой Ньюфаундлендской банки, средняя глубина которого около 100 м, характеризуется исключительно сложным строением. Субмеридионально вытянутый трог Авалон глубиной до 300 м отрезает внешнюю часть шельфа от прилегающих участков суши, ограничивая перемещение осадочного материала в район полигона в восточном направлении. Кроме того, основная часть Лабрадорского течения, проходящего вдоль Авалонского трога с севера на юг, также служит

своеобразным барьером для перемещения значительных масс терригенного вещества.

Источниками осадочного материала, выносимого в данный район с Северо-Американского шельфа, являются верхнепалеозойские красные толщи, сложенные глинистыми сланцами и песчаниками с цементом, обогащенным оксидами железа; а материала, поставляемого с Гренландии, — разнообразные кристаллические породы. Несомненно, важным источником служила и сама Большая Ньюфаундлендская банка, особенно в ледниковые периоды, когда значительная ее часть была поднята выше уровня океана и покрыта льдом. Поверхностные отложения банки представлены гравием и песком. Гравий сложен разноцветными тонкозернистыми вулканитами и кремнистыми осадочными породами. Реже встреча-

ются обломки красных гранитов и гнейсов. Среди смешанной фации песков и гравия присутствуют обломки песчаников, глинистых сланцев и известняков.

Среди биогенных компонентов донных осадков резко преобладают карбонатные скелетные остатки планктонных фораминифер и кокколитофорид. В подчиненном количестве присутствуют кремнистые остатки (редко до 10%) диатомовых водорослей.

В пределах полигона нами выделено три седиментационные провинции, принципиально различающиеся по характеру современного осадконакопления и строению вскрытых осадочных разрезов.

Первая провинция расположена к северо-западу от каньона Титаник. Она характеризуется интенсивным сбросом огромных масс осадочного материала вниз по континентально-

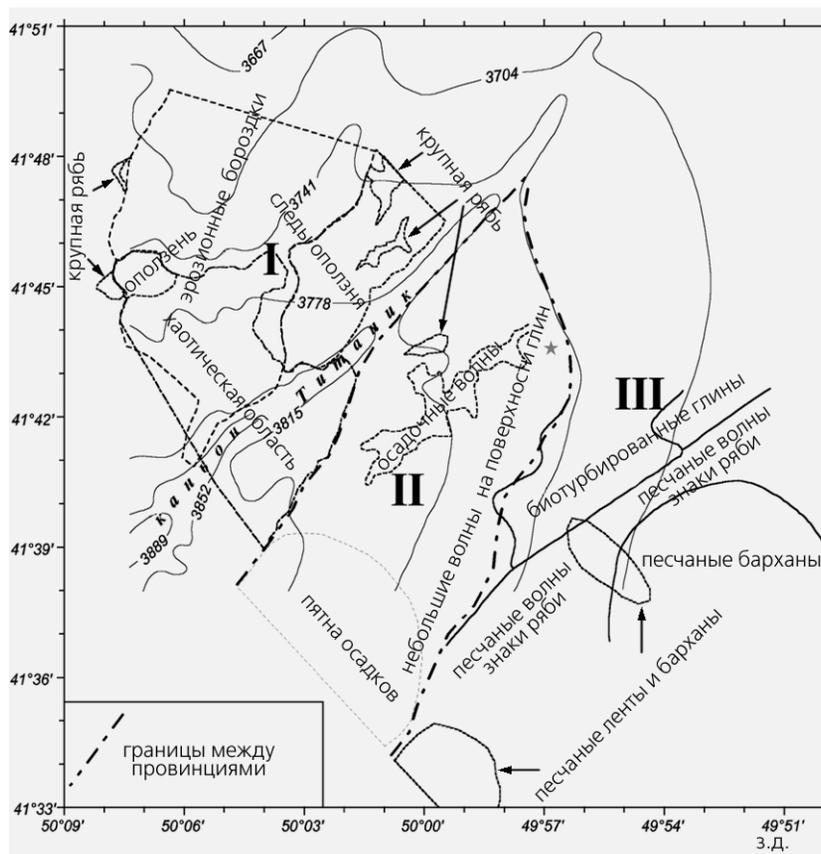
му склону, развитием мощных оползневых процессов. Во фронтальной зоне одного из оползней наблюдается хаотичное нагромождение осадочных пород, перекрытых молодыми рыхлыми осадками мощностью до 5—10 м. Толща сложена чередующимися турбидитами, отложениями каменных потоков и обычными осадками, сформировавшимися по механизму «частица за частицей».

Вторая провинция занимает центральную часть полигона. Ее восточная граница проходит непосредственно у затонувшего «Титаника» на глубине 3770—3775 м. При погружениях на подводных аппаратах наблюдалось ровное, достаточно плотное глинистое дно, местами присыпанное рыхлыми карбонатными осадками, часто со знаками ряби. На поверхности глин встречены окатанные и угловатые обломки кристаллических пород (материал ледового и айсбергового разноса), изредка покрытые тонкой пленкой оксидов марганца.

Третья провинция занимает восточную часть полигона и представлена молодыми карбонатными, в разной степени отсортированными рыхлыми осадками. Степень сортировки изменяется в зависимости от глубины океана. На поверхности дна широко развиты морфологические элементы, указывающие на довольно интенсивное воздействие на осадки придонных течений, — знаки ряби, песчаные волны и барханы.

Возраст осадочных отложений

Датирование донных осадков полигона «Титаник» представляло существенные трудности. Прежде всего это относилось к рыхлым осадкам верхнего комплекса, в формировании которого существенное участие принимали придонные течения. Наряду с собственным осадочным материалом, поставляемым из



Седиментационные провинции (I—III) полигона Титаник. Формы осадочного рельефа по [2].

верхних горизонтов водной толщи, течения переносят вещество, взмученное на других участках океанского дна. Изучение состава взвеси придонного нефелоидного слоя (повышенной мутности) показало, что в ней присутствуют фораминиферы, как бентосные, так и древние планктонные. Это заставляет с большой осторожностью относиться к определению возраста таких переработанных отложений.

Попытки использовать радиоуглеродные методы датировки также далеко не всегда оказывались удачными. В большинстве случаев при параллельных определениях возраста осадков одной и той же колонки по карбонатному и органическому веществу возраст, определенный по органическому веществу, оказывался существенно моложе.

Анализ всего геологического материала на полигоне Титаник позволил выделить три разновозрастных комплекса отложений.

Самый древний комплекс, обнажающийся на глубинах более 3775 м, представлен тонкими, сильно уплотненными пелитовыми бескарбонатными темно-серыми илами (глинами). Они местами перекрыты рыхлыми, обогащенными биогенным карбонатным материалом, осадками. Граница между отложениями резкая, неровная, со следами размыва глин. Различия этих явно разновозрастных образований заключаются не только в содержании биогенного карбонатного материала и степени уплотнения, но также в существенно большем количестве в глинах биогенных кремнистых остатков, прежде всего диатомей. Несомненно, эти отложения формировались в разных океанологических условиях и на разных критических глубинах карбонатонакопления. Можно полагать, что смена условий осадконакопления произошла на рубеже между ледниковым этапом плейстоцена и голоценом. Радиоуглеродные датировки глин указали на возраст не более 25 тыс. лет,

т.е. время самого конца последнего ледникового этапа плейстоцена — вюрма.

На глубинах менее 3200 м в осадочных разрезах, полученных к востоку от третьей седиментационной провинции, встречены, по-видимому, однообразные, с темно-серыми глинами, кирпично-коричневые пелитовые и алевроитово-пелитовые осадки, переслаивающиеся с серыми пелитовыми илами. Они еще в 1981 г. были обнаружены здесь М.Аламом и Д.Пайпером [5]. По данным микропалеонтологических исследований, эти осадки, сформированные в более холодных условиях поверхностных вод, чем вышележащие (в том числе и современные) илы, отнесены к отложениям последнего ледникового этапа.

Надо полагать, что основным источником материала, формирующего эти осадки, были широко развитые на прилегающем к району континенте верхнепалеозойские толщи, сложенные красными глинистыми сланцами и песчаниками с цементом, обогащенным оксидами железа.

Что касается темно-серых плотных глин, то, по-видимому, их окраска связана с восстановлением железа оксидов и формированием сульфидов железа. Это подтвердилось при изучении минерального состава осадков. Вполне возможно, что окраска переслаивающихся кирпично-коричневых осадков и серых пелитовых илов с гидротроилитом ($\text{FeS} \times n\text{H}_2\text{O}$) также связана с их постседиментационными преобразованиями. Кстати, содержание органического вещества в темно-серых глинах (что и свидетельствует о восстановительных условиях) примерно на порядок превышает содержание этого компонента в кирпично-красных илах.

Еще одно различие отложений седиментационных провинций — неодинаковое содержание биогенного карбонатного материала. В темно-серых плотных глинах он составляет меньше 10%, а в красных илах — от 14 до

32.7%. Здесь мы должны вспомнить, что кирпично-коричневые илы встречены на глубине менее 3200 м, в то время как темно-серые плотные глины находятся на глубинах, превышающих 3775 м. Вполне возможно, что критическая глубина карбонатонакопления в данном районе в вюрмское время составляла около 3770 м. Выше ее мы и должны ожидать биогенный карбонатный материал в донных осадках. Кстати, на одной из станций, находящейся значительно севернее исследованного нами района ($52^{\circ}55.1'\text{с.ш.}$, $16^{\circ}54.8'\text{з.д.}$), на глубине 3570 м проходит граница между верхними голоценовыми, содержащими около 76% CaCO_3 , и нижними вюрмскими осадками, содержащими около 20% CaCO_3 .

Кроме того, изученные осадки различаются и степенью уплотнения. Если вскрытые на сравнительно мелководных станциях отложения довольно рыхлые, то их аналоги на глубине более 3770 м представляют собой очень плотные глины. На мелководных станциях эти отложения захоронены под более молодыми осадками, а плотные глины более 10 тыс. лет обнажаются на поверхности дна. Скорее всего, уплотнение связано с формированием так называемого твердого грунта (hard ground) в условиях длительного экспонирования на поверхности дна, неоднократно описанным в научной литературе.

Итак, в результате исследований в первом разновозрастном комплексе осадков выявлена пространственная фациальная изменчивость вюрмских отложений.

Отложения **второго комплекса** прерывисты. Фиксируется перерыв осадконакопления между вюрмом и голоценом, связанный с существованием здесь в то время достаточно сильных придонных течений. На больших глубинах проходили наиболее интенсивные течения, создававшие условия, при которых не могли осаж-

даться не только тонкие пелитовые и алевритовые частицы, но и песчаные. Сохранилась только галька и обломки подстилающих глин. По данным радиоуглеродного анализа, возраст карбонатного материала в них 10.6—27.0 тыс. лет, а органического вещества — 13.7—17.3 тыс. лет. Скорее всего, данный осадочный комплекс образовался во время массового таяния ледниковых массивов, т.е. в дегляциальном этапе.

На глубине 3200—3000 м над вюрмскими кирпично-красными илами встречены слои тонкозернистых песков, включающих горизонты алевритово-пелитовых и пелитовых илов, по видимому также сформированных в дегляциальном этапе. Если это справедливо, то можно полагать, что данные отложения тоже образованы в условиях придонных течений, однако менее интенсивных, чем на больших глубинах. На дне отлагались преимущественно песчаные частицы, тонкий осадочный материал выносился за пределы зоны накопления. Наличие в песчаных отложениях прослоев алевритово-пелитовых и пелитовых илов указывает на нестабильность скоростей вдольсклоновых течений этого геологического этапа.

Строение и состав **третьего — голоценового — комплекса** отложений в пределах полигона очень изменчивы. На глубине от 3770 до 3200 м мощность вскрытых голоценовых осадков превышает 4 м. Вслед за Д.Пайпером и Д.Эриксоном с соавторами следует признать, что скорость накопления фоновых биогенных осадков в этой части Северо-Западной Атлантики не превышала 10 см в 1 тыс. лет, а в большинстве случаев составляла 3—5 см. Иными словами, в пределах полигона на указанных глубинах сформировалось мощное аккумулятивное тело, не характерное для данной природно-климатической зоны голоцена, в которой мощность отложений обычно не превыша-

ет 1 м. Причиной образования здесь такого аккумулятивного тела, представляющегося нам типичным контуритом, послужила дополнительная поставка осадочного материала вдольсклоновыми течениями, в несколько раз превышающая фоновые потоки вещества из водной толщи.

На глубине менее 3200 м мощность голоценовых осадков, сформировавшихся в гидродинамически спокойных условиях придонных вод, оказалась соизмеримой с фоновой. На глубинах более 3770—3775 м голоценовые отложения либо отсутствуют, либо образуют прерывистый маломощный покров, который время от времени взмучивается и в виде взвеси выносится мощными донными течениями за пределы полигона.

Западное пограничное глубинное течение

Исследование гидрофизических характеристик придонных вод на полигоне Титаник показало, что они приносятся движущимся с севера Западным пограничным глубинным течением, которое собирается в результате распространения вод, перетекающих через пороги на севере Атлантики, восточнее Гренландии и Исландии. Перемещаясь вдоль континентального склона Северной Америки, течение подходит к Большой Ньюфаундлендской банке с восточной стороны, продолжается вдоль подводного Ньюфаундлендского хребта, огибает его с юга и в пределах полигона перемещается на север вдоль изобат, затем в соответствии с рельефом дна поворачивает на запад.

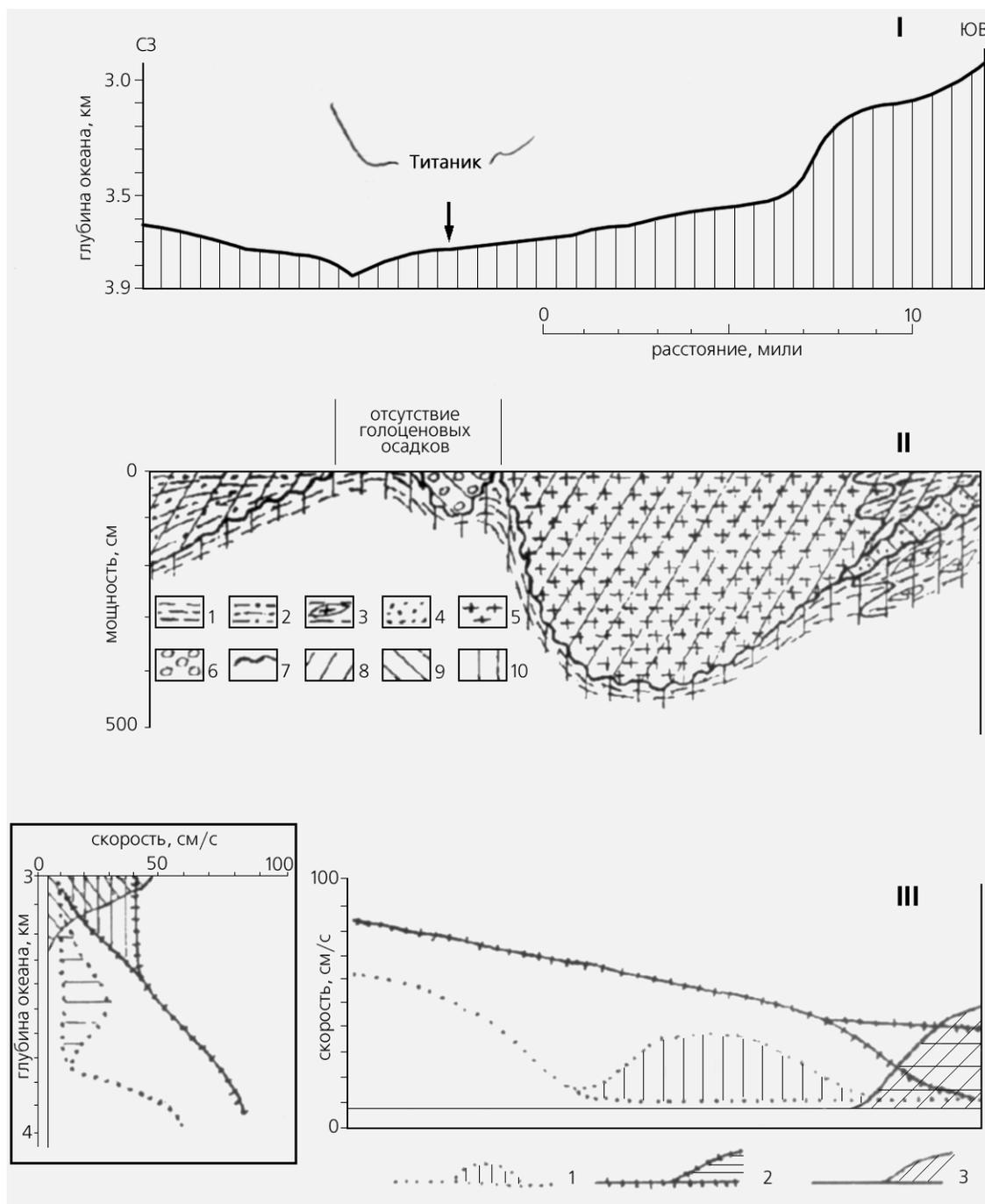
На многих участках, над которыми пролегает путь течения к полигону, зафиксировано интенсивное его воздействие на состав донных осадков и формирование специфических форм рельефа. В результате взмучивания осадков образуется нефелоидный слой [6, 7], уча-

зывающий на то, что скорость придонных течений здесь достигает (а возможно, и превышает) 10 см/с. Перед подходом к Большой Ньюфаундлендской банке Западное пограничное глубинное течение в нижней части склона и у его подножия перемещается со скоростью в среднем 8—9 см/с (с максимальным значением 34.6 см/с). В результате изучения осадочных отложений было установлено, что вдоль его оси развиты песчанистые контуриты, а по периферии — глинистые. Именно под осевой частью течения, где определены максимальные скорости, существуют условия, при которых тонкий материал (пелит, алеврит и, возможно, частично мелкий песок) не осаждается, а выносится придонным течением в сторону нашего полигона. Над поверхностью дна присутствует нефелоидный слой толщиной до 600 м. Концентрация взвешенного материала в нем, по нашим и литературным данным [8], изменялась от 80 до 250 мкг/л.

Наши исследования, проведенные в разные годы, установили, что гипсометрическое положение ядра этого течения и его скорости существенно изменились. В большинстве случаев ядро, характеризующееся максимальными скоростями, находилось на глубинах 3400—3770 м, где нами и обнаружен контурит. К сожалению, причины этих изменений пока не установлены.

Таким образом, на полигоне зафиксировано постоянное присутствие придонного нефелоидного слоя, толщина которого, а также концентрация взвеси в нем существенно изменяются со временем.

Мы попытались не только показать закономерности распределения различных осадочных комплексов на разрезе через полигон Титаник, но также по индикаторным признакам рассчитать, как изменялись скорости вдольсклоновых течений в зависимости от глубины в разные ин-



Взаимосвязь состава и строения осадочных образований и скоростей придонных вдольсклоновых течений.

I — рельеф дна на разрезе СЗ—ЮВ через полигон Титаник.

II — строение верхней части осадочного чехла на данном разрезе: 1—отложения («нормальные»), формирующиеся в гидродинамически спокойных условиях придонного слоя (скорости течений в 15 см от дна — менее 10 см/с); 2 — отложения континентального склона (чередование турбидитов и «нормальных» осадков); 3 — переслаивающиеся «нормальные» осадки и осадки, взмученные и переотложенные; 4 — песок с тонкими прослоями пелитовых и алевритовопелитовых илов; 5 — аккумулятивное тело, вытянутое вдоль склона (контурит); 6 — отложения с крупными глиняными катунами; 7 — перерыв в осадконакоплении; 8 — голоценовые осадки; 9 — отложения дегляциального этапа; 10 — вюрмские отложения.

III — скорости придонных вдольсклоновых течений на этом же разрезе (в 15 см ото дна): 1 — в голоцене; 2 — дегляциальном этапе; 3 — вюрме.

На врезке — изменение скоростей придонных вдольсклоновых течений с глубиной океана.

тервалы геологического времени (см. последний рисунок). Несомненно, эти величины трудно сопоставлять с непосредственно определенными, так как они имеют усредненный характер для достаточно продолжительного временного периода.

Изложенные результаты касаются характеристик придонных вод только последних нескольких лет. Определяя геологическую роль придонных течений, мы постоянно должны помнить, что положение вдольсклоновых течений и их скорости могли существенно отличаться от современных. Это особенно касается ледниковых этапов плейстоцена, а также времени массового таяния льда, перехода от ледниковых к межледниковым этапам (дегляциальным). Нарращивание ледяных массивов, а также их таяние и интенсивное поступление в океан опресненных холодных вод несомненно должно было сказаться на гидрофизических характеристиках (в том числе и их плотности) продуцируемых в полярных районах глубинных вод. Поэтому мы должны ожидать в позднечетвертичное время значительных изменений как гипсометрического положения вдольсклоновых (контурных) течений, так и их скоростей.

Чем же характеризуется позднечетвертичный осадочный разрез, формирующийся в условиях развития интенсивного вдольсклонового течения?

Еще раз подчеркнем, что наши пробоотборники вскрыли отложения последнего оледенения, дегляциального этапа и голоцена. Различия в составе и строении этих отложений на полигоне Титаник проявились очень отчетливо, ибо исключительно сильно изменялись условия среды. В ледниковый этап плейстоцена покровное оледенение достигало бровки шельфа, т.е. находилось рядом с полигоном. В голоцене же оно сохранилось в более северных районах, так как субтропические воды Гольфстрима практически подошли к его границам.

В данный интервал геологической истории в районе полигона кардинально изменялась океанологическая обстановка и соответственно — гипсометрическое положение ядра вдольсклонового течения и его скорость. Это способствует тому, что в осадочных разрезах присутствует целая гамма индикаторных характеристик, позволяющая соотнести разные скорости придонных течений с геологическими последствиями, которые вызывают эти течения в трансформации осадочного материала.

Используя информацию, полученную в результате исследования осадочных разрезов на полигоне Титаник, можно попытаться интерполировать ее на весь плейстоцен. Надо полагать, что неоднократно сменявшиеся ледниковые этапы на межледниковые должны были сопровождаться изменением гипсометрического положения

ядра контурного течения, значительно превышавшего 1000 м. В плейстоценовых склоновых осадочных разрезах наверняка должно наблюдаться чередование «нормальных» осадков со слоистыми толщами, испытывавшими интенсивное воздействие течений. Причем смена происходила на границах между ледниковыми и межледниковыми этапами плейстоцена. К каким этапам будут относиться «нормальные» осадки, зависит от гипсометрического положения области формирования осадочных отложений.

Если скорости придонных течений достигали максимальных значений в ледниковые этапы, то именно с ними и должны быть связаны перерывы в осадконакоплении. Однако не исключается наличие на ограниченных площадях таких перерывов и в межледниковье. Свидетельство тому — материалы по голоценовому осадконакоплению на полигоне Титаник.

В последнее время контуры обнаружены не только вблизи континентального склона, но также в разрезах глубоководных равнин у подножий подводных хребтов, в частности у подножия хребта Рейкьянес. Как определить их принадлежность к конкретным структурам океанского дна? В данном случае могут быть использованы многочисленные индикаторные характеристики состава донных отложений, обусловленные зональностью осадконакопления. ■

Литература

1. Savoye B., Cochonat P., Piper D.J.W. // Marine Geology. 1990. V.91. P.281—298.
2. Ucbupi E., Muck M.T., Ballard R. // Deep-Sea Research. 1988. V.35. №7. P.1093—1110.
3. Hollister C.D., McCave I.N. // Nature. 1984. V.309. P.220—225.
4. Piper D.J.W. // Canadian J. of Earth Sci. 1975. V.12. P.503—508.
5. Alam M., Piper D.J.W. // Canadian J. of Earth Sci. 1981. V.18. P.1336—1345.
6. Jones E.J.W., Ewing M., Ewing J.I., Etreim S.L. // J. of Geophys. Res. 1970. V.75. P.1655—1680.
7. Carter L., Schafer C.T. // Sedimentology. 1983. V.30. P.751—768.
8. Brewer P.G., Spencer D.W., Biscaye P.E. et al. // Earth. Planet. Sci. Lett. 1976. V.32. P.393—402.
9. McCave I.N., Tucholke B.E. Deep current-controlled sedimentation in the Western North Atlantic Region // The Geology of North America. 1986. V.M. The Western North Atlantic Region: Geological Society of America. P.451—468.



Семейные тайны морских игл и коньков

Е.С.Корниенко, В.Л.Касьянов

Название этих рыб из семейства игловых (Syngnathidae) определяется их внешним видом. К настоящему времени описано более 100 видов морских коньков, которые обитают в прибрежных водах примерно от 45°с.ш. до 45°ю.ш., предпочитая теплые тропические моря. Среди них встречаются «карлики», такие как *Hippocampus bargibanti*, размеры которых всего лишь 13 мм, и «гиганты», например *Hippocampus ingens* — около 350 мм [1, 2]. Тело морских коньков, как панцирем, покрыто костными пластинками, соединенными в виде поясков, хвостового плавника у этих рыб нет, на голове — костный гребень, хвост загнут крючком, с его помощью коньки цепляются за водоросли.

Ближайшие родственники морских коньков — рыбы-иглы — менее известны обывателю, хотя по количеству видов они более чем в три раза превышают число коньков. Тело у рыбы-иглы прямое, узкое и длинное, с хвостовым плавником. Как и у морского конька, оно покрыто пластинками наружного скелета. Вытянутое трубкообразное рыло заканчивается маленьким ртом, через который рыба, как через пипетку, втягивает в себя добычу: отсюда воз-



Елена Семеновна Корниенко, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биологии моря Дальневосточного отделения РАН. Научные интересы связаны с размножением, эмбриональным и личиночным развитием рыб семейства игловых.



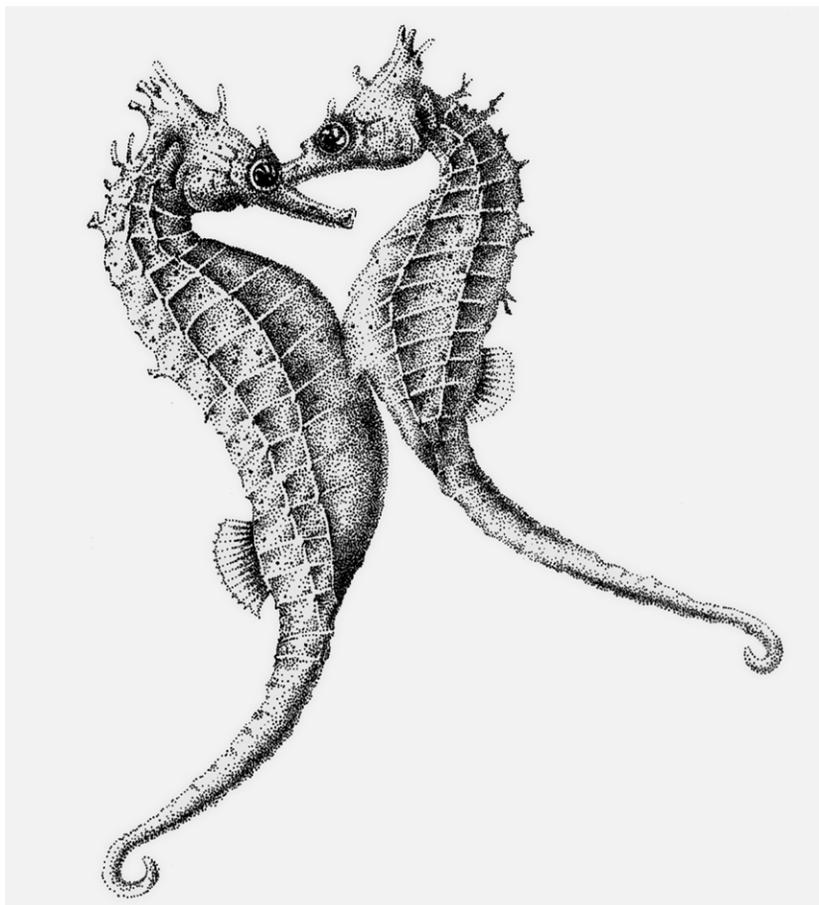
Владимир Леонидович Касьянов, академик РАН, доктор биологических наук, директор того же института. Область научных интересов — размножение морских организмов, биоразнообразие и проблемы глобальных изменений климата.

никло английское название рыбы — «pipefish» (рыба-пипетка).

Изучение биологии размножения и развития у любого малоизученного вида безусловно расширяет наши познания; интерес же к морским иглам и морским конькам определяется, во-первых, их уникальным

способом заботы о потомстве, во-вторых, тем, что в некоторых странах морские коньки — объект интенсивного промысла, поэтому необходимо было наладить их воспроизводство.

Когда заходит речь о том, как размножаются морские иглы и морские коньки, женщины



Морские коньки в момент откладки яиц (слева — самец, справа — самка).

обычно приходят в необычайный восторг, а мужчины начинают искать глубинный смысл и какие-то особые преимущества такого способа размножения. Дело в том, что у этих рыб самка лишь откладывает яйца самцу, а он вынашивает потомство либо открыто на нижней стороне собственного тела, либо в специальной выводковой камере, образованной двумя кожными складками.

Каким образом могло появиться у самцов этих рыб такое удивительное приспособление — выводковые камеры или сумки? Один из вариантов их появления может быть таким.

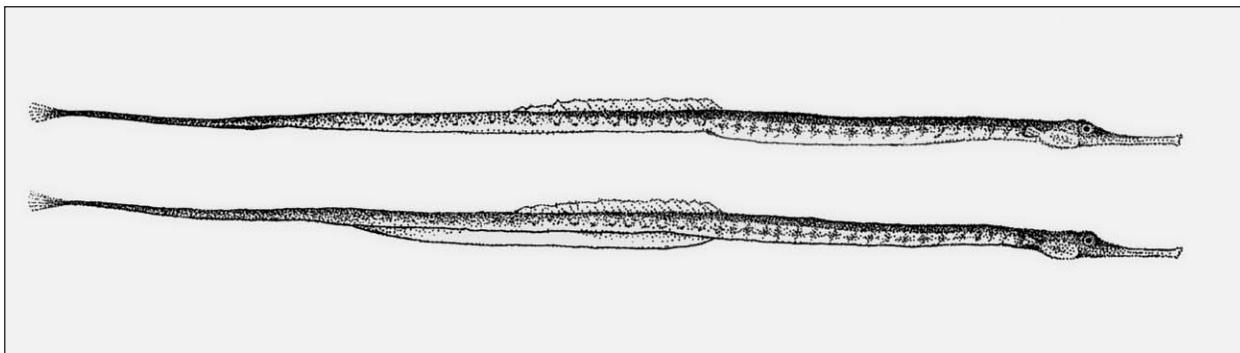
Ближайшие родственники игловых рыб — колюшки, которые также известны в рыбьем мире заботой о собственных ча-

дах. Самка и самец вместе выют гнездо, в которое самка откладывает икринки, а потом родители вместе заботятся о них. Может быть, рыбы-иглы, как и морские коньки, тоже начинали с совместной постройки гнезда и вместе заботились о потомстве? Но то ли самки у них оказались недостаточно заботливыми мамами, то ли самцы — чересчур ответственными отцами, так или иначе охрана гнезда стала только отцовской заботой. Он был просто привязан к нему, проветривал, оберегал от хищников, даже поест толком некогда было. Возможно однажды самка, вместо того, чтобы отложить икринки в гнездо, пристроила их прямо самцу на брюшко, и таким образом проблема охраны была ре-

шена: теперь отец мог плыть куда угодно, свободно кормиться.

Однако икринки, просто приклеенные к брюшку, все-таки могут стать жертвой хищника, повредиться или потеряться, поэтому заботливая эволюция всячески стремилась их прикрыть. У одних самцов кожные покровы на брюшке превратились в некое подобие губки: икринки, отложенные самками, почти целиком погружаются в эту пористую ткань. У других — на нижней стороне хвоста появились две продольные кожные складки, которые прикрывают яйца с двух сторон, но не соединяются друг с другом. Если же эти складки соединить (что и произошло у самцов третьих видов), то получится великолепное укрытие для растущих маленьких игл. В этом случае хищник может съесть их только вместе с заботливым папашей. Идеал заботливого отца в рыбьем царстве — это морской конек. У него на животе, как у кенгуру, карман, который открывается лишь маленькой порой. Через нее самка помещает внутрь выводковой сумки икринки, через нее же выходят на белый свет и подросшие мальки.

Совершенствуя конструкцию выводковой сумки, природа не забывала и об увеличении полезных функций, которые выполняет этот орган, ведь он не только обеспечивает механическую защиту зародышей. В тканях выводковой сумки содержится большое количество мелких кровеносных сосудов, через которые происходит снабжение зародышей кислородом, вывод продуктов метаболизма и, вероятно, перенос некоторого количества питательных веществ от отца к развивающимся икринкам. Во внутреннем эпителиальном слое, плотно контактирующем с оболочками яиц, находятся клетки, которые отвечают за осморегуляцию. Это очень важно для игловых рыб, ведь большинство из них обитает в местах с переменной соленостью (на мелководьях, в эстуариях



Приморская морская игла (вверху — самка, внизу — самец).

рек), поэтому поддержание осмоса внутри выводковой камеры на постоянном уровне до тех пор, пока у подрастающих личинок не появятся собственные механизмы осморегуляции, позволяет уберечь их от гибели в результате резких перепадов солености.

С материнской точки зрения, казалось бы, полная идиллия. Всего-то и дел — яйца отложить, потом отец на протяжении долгого времени (у некоторых видов период вынашивания длится более 40 дней) нянчится с малышами: не только гарантирует безопасность, но еще и, как говорится, кормит и поит. А беззаботная мамаша тем временем — гуляй, отдыхай, ищи, кому бы еще своих детишек определить.

Но, оказывается, не все так просто. Во-первых, объемместилища для яиц не так уж и велик, а во-вторых, пока самец вынашивает эмбрионы, он не представляет интереса как половой партнер. Вот и получается, что икринки есть, а пристроить их «на воспитание» некому. И самки, чтобы добиться благосклонности свободных самцов, идут на всяческие ухищрения: приобретают «боевую» раскраску, образуют украшения в виде кожных складок, активно ухаживают за самцами. А уж кавалеры выбирают среди них самых-самых. Особенно распространена такая смена половых ролей среди полигамных видов рыб-

игл, хотя среди них и встречаются исключения. Например, у полигамного вида приморской морской иглы *Syngnathus acusimilis*, обитающей в Японском море, половые роли остаются традиционными и во время нереста самцы изящно ухаживают за самками, добиваясь их благосклонности. Процесс ухаживания длится около полутора часов, после чего самка откладывает яйца [3].

У самок игловых рыб нет никаких приспособлений, позволяющих как-то удерживать самца, пока самка откладывает яйца в его выводковую камеру, поэтому ей приходится торопиться. В стенках ее яичников хорошо развит мышечный слой и содержится большое количество нервных волокон, это позволяет достаточно быстро, как из шприца, впрыснуть некоторую часть яиц в выводковую сумку самца и отправляться на поиски следующего кандидата в отцы. Вот и получается у них такая большая «семья»: каждый самец вынашивает потомство нескольких самок, а каждая самка откладывает яйца нескольким самцам. Причем у одних видов игл эмбрионы и личинки, находящиеся в выводковой сумке, могут быть на разных стадиях развития, у других — на одной. Вероятно, в первом случае самец оплодотворяет яйца по мере того, как самка отложит очередную порцию, а во втором — по-

сле того, как сумка заполнится и складки ее плотно закроются.

В отличие от игл, морские коньки ведут весьма добропорядочный образ жизни. Никаких случайных связей: на весь сезон размножения образуется постоянная пара, которая занимает определенный участок в морских зарослях. Самец, чтобы добиться благосклонности самки, исполняет затейливый брачный танец. Если на территорию, где обитает пара, посягнет какой-нибудь чужак, заботливый кавалер тут же прогонит его. Спаривание у них обычно происходит несколько раз, поэтому в сумке самца маленькие коньки могут быть на разных стадиях развития и тогда подросшее поколение покидает отцовскую сумку с интервалом в несколько дней [4]. Иногда забота отца на этом не заканчивается, и уже покинувшие сумку вполне сформировавшиеся молодые коньки в случае опасности могут снова ненадолго вернуться под защиту отца.

Беременный герой Арнольда Шварценегера — это жалкая пародия рядом с героическими отцами подводного мира, среди которых есть рекордсмены, вынашивающие одновременно больше тысячи детенышей, например уже упомянутая рыба-игла из Японского моря в длину около 20 см, при ширине менее сантиметра. У ее самцов в начале беременности в выводковой

камере находится больше тысячи икринок диаметром немногим более миллиметра. К концу беременности, которая продолжается около месяца, каждый малек достигает длины 11–12 мм. Примерно на второй неделе развития личинки выходят из яйцевых оболочек, но и после этого остаются в тесном пространстве среди тканей выводковой камеры, где, несмотря на тесноту, они все же пытаются двигаться [5]. Действительно, самцу достается довольно тяжелое бремя. В таком состоянии за добычей особенно не побегаешь, ведь такую тяжесть носить надо, да еще и эту тысячу растущих ртов как-то подкармливать приходится. Где же на все это сил набраться? Природа нашла для самцов игловых рыб весьма оригинальный источник дополнительной энергии. Вспомним, как обычно происходит нерест рыб: самка откладывает икру (на камушек, на водоросли или просто в ямку в песке), а самец поливает ее спермой. Количество сперматозоидов, образующихся в семенниках рыб (особенно таких, которые, как лососи, нерестятся на быстром течении), огромно. Чем больше сперматозоидов, тем больше шансов, что они выполнят свою миссию (хотя цели достигнут лишь немногие). Самцы морских игл и морских коньков не могут позволить себе такой расточительности. Зачем тратить энергию на производство огромного коли-

чества спермиев, если оплодотворение происходит внутри ограниченного пространства выводковой камеры, где почти каждая мужская половая клетка просто обречена на успех, тем более, что силы надо экономить для долгого вынашивания. Поэтому количество сперматозоидов, образующихся в семенниках игловых рыб, невероятно мало. Хотя еще не известно, на каком этапе сперматогенеза определяется численность половых клеток, но, возможно, сперматогенные клетки подвергаются фагоцитозу еще на самых ранних стадиях, чтобы послужить источником питательных веществ для небольшого числа половых клеток, которым суждено стать зрелыми спермиями [6].

Известно, что форма сперматозоидов зависит от способа осеменения. У животных с наружным осеменением (это относится и к костистым рыбам) характерны спермии, у которых головка округлой формы, с внутренним — головка вытянутой формы и хорошо развита средняя часть, что помогает сперматозоидам двигаться внутри половых путей самок. Как уже отмечалось, у большинства костистых рыб — осеменение наружное. Но, поскольку у игловых яйца находятся внутри закрытой выводковой камеры, их способ осеменения можно характеризовать как «ненааружный». Спермиям этих рыб приходится передвигаться

не в морской воде, а в жидкости, заполняющей выводковую камеру, среди плотно упакованных яиц. Поэтому спермии приморской рыбы-иглы имеют вытянутую форму и две кольцевые митохондрии в средней части [7].

В странах Юго-Восточной Азии морские коньки, наряду с трепангом и женьшенем, широко используются в народной медицине как источник биологически активных веществ. В этих странах ведется активная торговля морскими коньками и некоторыми видами морских игл, причем цены на них достаточно высоки [8]. Кроме того, у морских коньков экзотический и очень декоративный вид, поэтому их довольно часто отлавливают для содержания в аквариумах. Поскольку эти рыбы обычно обитают на мелководье, их достаточно легко поймать, и очень часто они становятся жертвами любопытствующих туристов. Интенсивный вылов игловых рыб привел к резкому снижению их численности, в ряде стран они стали охраняемыми видами. Например, в «Красную книгу Вьетнама» занесены три вида морских игл и пять видов морских коньков [9]. Поэтому в некоторых странах, в том числе и во Вьетнаме, были предприняты попытки искусственного культивирования этих рыб. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 00-15-97938.

Литература

1. Vincent A. // Austral. Natur. Hist. 1989. V.23. №2. P.123—127.
2. Vincent A. // Nat. Geogr. 1994. V.185. P.127—140.
3. Корниенко Е.С. // Биология моря. 2001. Т.27. №1. С.64—67.
4. Фам Тхи Ми, Корниенко Е.С., Дроздов АЛ. // Биология моря. 1998. Т.24. №5. С.315—318.
5. Дроздов АЛ, Корниенко Е.С., Краснолуцкий А.В. // Биология моря. 1997. Т.23. № 5. С.304—308.
6. Корниенко Е.С., Дроздов АЛ. // Биология моря. 1999. Т.25. №4. С.323—326.
7. Корниенко Е.С. Размножение, эмбриональное и личиночное развитие приморской морской иглы *Syngnathus acusimilis* и желтого морского конька *Hippocampus kuda* (сем. Syngnathidae) // Автореф. канд. дисс. 2001. Владивосток.
8. Vincent A. The international trade in seahorses. Oxford, 1996.
9. Red data book of Vietnam. V. 1: Animals / Hanoi, 1992.

Микробы под дном океана и внеземная жизнь

К.Н.Несис,
доктор биологических наук
Москва

В гидротермальных излияниях на активно раздвигающемся ложе океана выходит на поверхность дна горячая (350–400°C) вода. Она поднимается с больших (1000–1500 м) глубин земной коры, сложенных плотными, практически лишенными пор, изверженными породами. Перегретая вода, насыщенная сульфидами и другими соединениями тяжелых металлов, вырывается клубами из жерл черных курильщиков, неся с собой массы живущих практически в кипятке экстремально термофильных архебактерий, окисляющих сульфиды. Этими бактериями питаются и их содержат как симбионтов в своих телах многочисленные животные — обитатели гидротермальных оазисов на дне океана: вестиментиферы, брюхоногие и двустворчатые моллюски, креветки и др. Верхняя, приблизительно полукилометровая толща пород сложена более рыхлыми застывшими лавами, их пористость — от 10% в нижней части до 38% вблизи поверхности дна. Морская вода температурой около 2°C свободно входит в эти поры, циркулирует в них, нагревается подземным теплом до 5–30°C и снова выходит на поверхность в виде «муаровых высачиваний». Дж.Баросс из Вашингтонского универ-

ситета в Сिएтле давно пропагандирует идею, что эти подземные полости могут быть населены собственными микроорганизмами, отсутствующими в горячих излияниях, и не исключено, что условия их обитания близки к тем, в которых зародилась жизнь на Земле. Недавно М.Саммит из Университета им.Вашингтона в Сент-Луисе и сам Баросс доказали эту гипотезу [1], изучив 13 изолятов (штаммов бактерий), выделенных из горячих (330–400°C) излияний и из соседних (в 10–20 и в 200 м) прохладных (12–14°C) высачиваний.

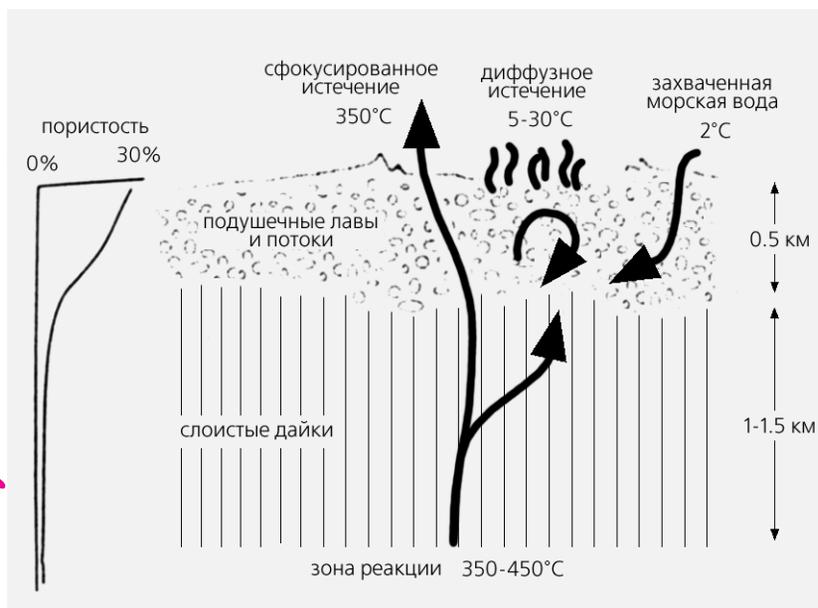
Пробы бактерий были взяты в июне и сентябре 1995 г. подводным обитаемым аппаратом «Алвин» в Тихом океане на хребте Хуан-де-Фука юго-западнее Британской Колумбии (Канада). Пункты отбора проб находились на глубине 2260 м, где скорость раздвижения дна составляет 5–6 см/год. Были исследованы физиологические свойства микроорганизмов, структура гена, кодирующего 16S рибосомную РНК и межгенного участка 16S–23S рРНК, после чего результаты сравнили с генетической структурой более чем 20 известных архебактерий из разных гидротермальных районов Мирового океана.

Все 13 штаммов оказались гипертермофильными (максимально переносимая температура

90–95°C, оптимальная — около 80°C) гетеротрофными архебактериями. Они относились к родам *Thermococcus* и *Pyrococcus* (порядок термококковых), которые используют окисление сульфида или серы как источник энергии, а белки (или смеси аминокислот) — как источник органического углерода. По генетической структуре бактерии разделились на четыре группы. Две из них, очень близкие, состояли из трех штаммов каждая, включали только бактерии из прохладных высачиваний и были сходны соответственно с *T.hydrothermalis* и *T.siculi*. Третья объединяла пять штаммов из горячих излияний; эти бактерии образовали самостоятельную группу в роде *Thermococcus*. В последней группе оказались два штамма из рода *Pyrococcus*: один из горячего, другой из прохладного излияния.

Различия между бактериями из горячих излияний и прохладных (т.е. из полостей) состоят в том, что «горячие» бактерии приспособлены к более широкому диапазону колебаний температуры и солености, чем «прохладные», могут жить при более высокой концентрации тяжелых металлов, в особенности цинка, и имеют более активные протеазы (ферменты, разлагающие протеины), благодаря чему, возможно, обитают при более высокой концентрации растворенно-

© К.Н.Несис



Схематический разрез через океанскую кору в центре спрединга. Смешение гидротермального флюида и морской воды под поверхность дна происходит в зоне экструзии. График изменений пористости с глубиной составлен по результатам гравиметрических измерений в скважине №5048 Программы глубинного бурения дна океана [1].

го органического вещества. Следовательно, «горячие» и «холодные» бактерии приспособлены к жизни в разных условиях и поэтому не смешиваются.

Скопления теплых вод в пористых слоях под дном океана — это новый, ранее не известный биотоп, отличный от биотопа горячих сульфидных излияний. Пока мы знаем, что он населен лишь гипертермофильными анаэробными гетеротрофными археобактериями, но Саммит и Баросс предполагают, что там могут быть и другие физиологические группы микроорганизмов. Среда их обитания не только близка к той гипотетической среде, в которой возникла жизнь на Земле, но и аналогична условиям, в которых, как предполагается, могла бы существовать жизнь глубоко под поверхностью Марса, где сказывается влияние внутреннего тепла угасаю-

щей планеты, а также в подповерхностном океане Европы — спутника Юпитера. Недаром статья американских исследователей опубликована в специальном выпуске «Трудов Академии наук США», посвященном проблемам поиска внеземной жизни.

Юпитерова «луна» Европа (диаметр 1565 км) считается сейчас наиболее перспективным космическим телом для поиска внеземной жизни. Данные, полученные космическими зондами «Вояджер» и «Галилео», дают основание предполагать, что на этом тектонически активном спутнике есть подповерхностный океан (его глубина может достигать сотни километров!), покрытый многокилометровой толщиной льда. К.Чибя и С.Филлипс из Центра исследований жизни во Вселенной Института поиска внеземного разума в калифорнийском городе Маунтин-Вью (кро-

ме учреждения со столь экзотическим названием, авторы работают в престижном Стенфордском университете) полагают, что фотосинтез на Европе, по всей вероятности, невозможен. Однако заряженные элементарные частицы «солнечного ветра», ускоренные могучей юпитеровой магнитосферой, бомбардируют поверхность спутника и дают достаточное количество энергии, чтобы в верхнем слое льда проходила реакция разложения воды. В результате этого образуется перекись водорода и выделяется свободный кислород ($O\bullet$), который проникает в океан через трещины во льду [2]. Перекись водорода спектроскопически обнаружена на Европе, а органические молекулы (возможно, кометного происхождения) пока не выявлены на ней, но на других спутниках Юпитера — Ганимеди и Каллисто — имеются. Жидкая вода, органические вещества, свободный кислород и энергия — что еще нужно для жизни? Так что вполне возможно, в Европейском (назовем его так) океане на самом деле могла бы существовать жизнь, основанная на солнечной радиации. Живут же микробы в охлаждающем контуре энергетических ядерных реакторов! Чибя и Филлипс подсчитали, что за счет разложения H_2O океан может за 200 млн лет насытиться кислородом до той же концентрации, что у дна земных океанов, а если во льду происходит рециркуляция кислорода, то всего за 50 тыс лет. В последнем случае они не исключают даже возможности существования в этом океане «аналогов гигантского кальмара или иной макрофауны». Выходит, прежде, чем посылать на Европу экспедицию для поиска внеземной жизни, придется надежно дезинфицировать межпланетный корабль и обезопасить юпитеров спутник от заноса жизни земной! ■

Литература

1. Summit M., Baross J.A. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 2001. V.98. №5. P.2158—2163.
2. Chyba C.F., Phillips C.B. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 2001. V.98. №3. P.801—804.

Новости науки

Астрофизика

Новая загадка черной дыры

Некоторые галактики отличаются тем, что из своего центра извергают мощную струю газов и космической пыли, которая простирается на тысячи световых лет. Естественно, на такой процесс тратится огромное количество энергии. Наиболее подходящим ее источником считается гигантский газово-пылевой диск, который, по-видимому, окружает сверхмассивную черную дыру, расположенную в центре галактики. Однако сомнение в этом высказал в 2000 г. американский астроном Р.Антонуччи (R.Antonucci; Университет штата Калифорния в Санта-Барбаре). Он провел наблюдения за одной из сравнительно близких к нам галактик — эллиптической галактикой М 87, находящейся в созвездии Девы. Этот объект считается типичным для активных галактик, получающих энергию от сверхмассивной черной дыры.

Обнаружилось, что окружающее М 87 облако излучает в инфракрасном диапазоне до удивления малое количество энергии.

Исследования продолжила группа во главе с Э.Перлманом (E.Pperlman; Университет штата Мэриленд), которая работала на телескопе Gemini North (Близнецы Северные), расположенном на Гавайских о-вах. К концу 2001 г. ученым удалось получить более четкую картину инфракрасного излучения от черной дыры в галактике М 87. Стало очевидным, что каким-то образом она «ухитряется» выбрасывать в пространство газовые струи, не прибегая к существенному заимствованию энергии из окружающего диска.

Сопоставляя светимость диска с энергией газовой струи, астрономы подсчитали, что это отношение составляет приблизительно лишь одну тысячную того, что наблюдается у других активных галактических ядер, например у галактик Центавр А или Лебедь А.

Открытие заставляет астрономов-теоретиков пересматривать свои взгляды. Если М 87 не является типичным для своего рода небесным объектом, то необходимо установить, что именно представляет собой источник, позволяющий тратить столь непомерное количество энергии для выброса газово-пылевых струй. Следует также установить, существуют ли во Вселенной и другие столь же загадочные галактики.

Astrophysical Journal Letters. 2001. №1; Science. 2001. V.294. №5545. P.1263 (США).

Астрономия

Предсмертное дыхание кометы Борелли

В 1998 г. в США был запущен космический аппарат «Deer Space-1» с основной целью — испытать новые навигационные приборы и впервые созданный ионный двигатель. Небольшая чисто научная программа включала лишь пролет со скоростью 16.5 км/с сквозь облако газа и пыли, извергаемых ядром кометы Борелли. Однако полученные результаты оказались весьма интересными.

На Землю поступили чрезвычайно четкие снимки, позволяющие судить о сильно пересеченной поверхности этого небесного тела, имеющего длину всего около 8 км, а формой напоминающего кеглю. Из глубины «загрязненного снега» исходили мощные потоки

пыли и влаги, порожденной испаряющимся льдом. Все это говорит о грядущем распаде кометы: при такой интенсивной потере материала она вскоре может развалиться на два независимых тела. Линия разлома, по мнению известного космогеолога Л.Содерблома (L.Soderblom; Геологическое управление США во Флагстаффе), пройдет, вероятно, или по самой середине кометы или же через ее узкое «горлышко».

Сейчас комета Борелли находится в относительной близости к Солнцу, что усиливает испарение с ее поверхности. При этом она вращается, подставляя приборам аппарата «Deer Space-1» то одну свою освещенную сторону, то другую. Благодаря этому получены важные данные относительно ионов, содержащихся в коме (оболочке) кометы, а также инфракрасные спектры излучения ее ядра и черно-белые снимки, причем намного более отчетливые, чем фотографии кометы Галлея, которые поступили в 1986 г. от целого «флота» космических аппаратов.

Выяснилось, что на обеих окочечностях кометы Борелли расположено по своеобразному плато, а между ними — гладкая яркая равнина. Именно над ней вздымаются по крайней мере три колонны газов и пыли. Хорошо различимы и многочисленные глубокие трещины, которые сулят комете развал.

В ноябре 2001 г. испытания ионного двигателя аппарата «Deer Space-1» завершились и связь с ним была прекращена. Обработка полученных данных ведется в Лаборатории реактивного движения (Пасадена, штат Калифорния).

Science. 2001. V.294. №5540. P.27 (США).

Астрономия. Геофизика

Самая высокогорная обсерватория

В сентябре 2001 г. на горе Сарасвати (хребет Ладакх к северу от Гималаев) был введен в эксплуатацию новый двухметровый оптический и инфракрасный телескоп, принадлежащий Индийскому астрофизическому институту в Бенгалуру. С этого момента начала работу самая высокогорная в мире астрономо-геофизическая обсерватория Ханле, названная так по ближайшему населенному пункту.

Местность привлекательна высотой расположения (4517 м над ур.м.), безоблачностью неба, сухим и холодным климатом, что уменьшает искажающее влияние атмосферы, а также отсутствием даже далекого светового загрязнения огнями уличных фонарей и автомобильных фар. Здесь планируется в будущем разместить приборы для наблюдений в субмиллиметровом и миллиметровом диапазоне волн.

До сих пор высочайшей в мире была Обсерватория Мейера—Уомбле в Скалистых горах, принадлежащая Денверскому университету (штат Колорадо, США), но теперь она на 200 м уступила по высоте расположения индийской. Еще одну обсерваторию, примерно равную по высоте Ханле, планируют создать в чилийских Андах; она будет называться Атакамской большой субмиллиметровой сетью.

Существенное преимущество обсерватории Ханле состоит в том, что уже сейчас она имеет надежную связь через запущенный в 2000 г. геосинхронный спутник, позволяющий дистанционно передавать приборам команды и получать данные наблюдений: информация поступает в отделение Института астрофизики, находящееся в Хосакоте, рядом с Бенгалуру. Таким образом, присутствие астрономов при наблюдениях не всегда необходимо. Большинство других горных обсерваторий вынуждено связываться с внешним миром через загруженные наземные линии.

Новому телескопу на горе Сарасвати присвоено имя известного астрофизика, лауреата Нобелевской премии Субраманьяна Чандрасекара (S.Chandrasekhar), родившегося в Индии. Живейший интерес к возможности работать в новом учреждении проявляют ученые США и Японии. Последние хотели бы связать приборы обсерватории Ханле с теми, что будут установлены на борту японского спутника «Astro-F» для наблюдения земной поверхности в инфракрасном диапазоне; этот ИСЗ предстоит запустить в 2003 г. Радиоастрономическая обсерватория Нобеямо готова сотрудничать в субмиллиметровой области при изучении водяных паров в атмосфере.

Для геофизики важно, что обсерватория Ханле расположена непосредственно над одной из ключевых точек Евразийской плиты, заполняя тем самым существенный пробел в сети геодезических и геотектонических станций, ведущих наблюдения за движениями плит. Благодаря индийским астрометристам, специалистам по геодинамике и сейсмологии, действовавшим через Центр математического и компьютерного моделирования в Бенгалуру, было установлено, что Индостанская и Евразийская плиты земной коры ныне сталкиваются со скоростью 55 мм/год.

В развертывании работ на высокогорной обсерватории Ханле заинтересованы климатологи Национальной физической лаборатории (Нью-Дели), где ведутся озонметрические измерения и наблюдения в ультрафиолетовой части спектра, а также сотрудники Института тропической метеорологии в Пуне (штат Махараштра), изучающие атмосферные аэрозоли. Об установке своих приборов для постоянных исследований атмосферного CO₂ договорились французские ученые.

Район Ханле представляет большой интерес и для биологов: здесь обитают весьма редкий снежный барс, тибетский дзерен и кулан. Здесь же, по-видимому, находится единственное в мире

место, где гнездится черношейный журавль. Поэтому руководство Обсерватории охотно помогло зоологам и экологам из индийского Института изучения дикой природы и Всемирного фонда дикой природы разместить базу на своей территории.

Итак, новой высокогорной научной базе «светит» большое будущее.

Science. 2001. V.293. №5534. P.1423 (США).

Планетология

Химический состав Луны

После посещений единственного естественного спутника нашей планеты американскими космическими кораблями миссии «Apollo» и советскими аппаратами серии «Луна», завершившихся доставкой на Землю образцов лунного грунта, выяснилось, что материковые породы на Луне обогащены алюминием и обеднены железом и магнием. Дальнейшие исследования это подтвердили, но внесли и некоторые поправки.

Огромные гористые районы материковой поверхности Луны, где железа действительно чрезвычайно мало, сложены анортозитами — породами с высоким содержанием алюминия. Анортозиты образуются в условиях, когда остывание и кристаллизация расплавленной породы идет медленно, при этом богатые алюминием соединения малой плотности всплывают на верх магматического очага. Изобилие анортозитов в лунной коре свидетельствует в пользу точки зрения тех ученых, которые считают, что самый верхний слой Луны некогда был почти полностью расплавлен, образовав своего рода «магматический океан».

Когда в лабораторных условиях исследовали изотопный состав лунных анортозитов, специалисты пришли к выводу, что «жидкокаменные моря» существовали в начале эволюции нашего спутника. Это касается времени их распространения, а данные по пространственному распределению, полученные с борта космического

аппарата «Clementine», показали, что такой океан, похоже, покрывал всю поверхность Луны.

Возник вопрос: откуда взялась та гигантская тепловая энергия, которая сумела все это расплавить? Единственным реальным ответом было возвращение к гипотезе мегаимпакта: Луна родилась в результате катастрофического столкновения Земли с неким крупным небесным телом, рассеявшим в пространстве массу обломков, которые затем довольно быстро соединились воедино, образовав наше ночное светило.

Как уже сказано, большая часть материковой поверхности Луны железом отнюдь не богата, но есть исключения. Например, дно огромного бассейна Эйткена, расположенного около Южного полюса на ее обратной стороне. Эта структура диаметром около 2600 км явно порождена падением какого-то чужеродного тела. Помимо железа здесь отмечено относительное изобилие титана, имеются следы тория. В отличие от насыщенного железом дна бассейна, окружающие горы содержат мало этого элемента, зато богаты алюминием. Судя по всему, мощное столкновение «содрало» верхний слой коры, обогащенный алюминием, и обнажило породы, богатые железом. Следовательно, лунная кора имеет слоистое строение, причем нижние железомagneзиальные горизонты относительно обогащены титаном и некоторыми редкими элементами.

Области на Луне, условно называемые морями, — т.е. те темные выровненные равнины, которые заполняют древние бассейны, — возникли в результате базальтового вулканизма, проявившего себя, видимо, уже после того, как «магматический океан» окончательно окаменел. Повторное плавление железомagneзиальных пород, лежавших глубоко в лунной мантии (ниже 400 км под ее поверхностью), началось около 4,3 млрд лет назад и продолжалось по крайней мере до времени, отстоящего от нас на 3 млрд лет. Это совпадает с возрастом самых молодых базальтов, доставленных на

Землю космическими кораблями миссии «Apollo».

Судя по информации, полученной с аппаратов «Clementine» и «Lunar prospector», количество титана в лунной «морской» коре может от места к месту различаться более чем в 10 раз. Образцы же с высоким содержанием титана, которые 30 с лишним лет назад доставил на Землю космический корабль «Apollo-11», оказались редкостью, однако именно такие высокотитанистые базальты характерны для района Моря Спокойствия, где этот пилотируемый корабль совершил посадку.

Большие ударные кратеры, обнажившие обогащенные железом морские базальты, вскрывают лежащие ниже такие же породы, но не богатые железом. Это говорит о том, что морские равнины покрыты тонким, не более нескольких десятков метров, слоем железообогатенных пород. Изменяя плотность распределения ударных кратеров в пределах лунных морей и сравнивая ее с возрастом пород в местах посадки кораблей «Apollo», удалось построить стратиграфическую карту морей всей Луны, установить состав, возраст и мощность слагающих ее пород. Появилась возможность проследить эволюцию нашего естественного спутника даже тщательней, чем самой Земли! Ведь у нас большая часть всей вулканической переработки коры, происходящей на дне океанов, остается скрытой.

Science. 2001. V.293. №5536. P.1779 (США).

Метеоритика

Свидетельствуют ископаемые метеориты

В последние годы рабочие каменоломни Киннекуле в Южной Швеции многократно находили булыжники диаметром до 40 см, резко отличающиеся от местного известняка. Изучивший их состав геохимик Б.Шмиц (B.Schmitz; Гётеборгский университет) установил, что это метеориты, попавшие на Землю сотни миллионов лет назад. Результаты дальнейшего анализа

были представлены им на международной конференции Метеоритного общества, состоявшейся в октябре 2001 г. в Ватиканском Григорианском университете.

О космическом происхождении находок говорит их химический состав и минеральная структура. Эти пришельцы залегают в 12 отчетливо различимых слоях, которые, судя по их геологическим характеристикам, отложились за период общей продолжительностью около 2 млн лет. По-видимому, столкновения Земли с обнаруженным скоплением этих небесных тел происходили примерно полмиллиарда лет назад, когда на месте современной Южной Швеции было мелководное море. Вычисления показывают, что это не был единичный эпизод; похоже, тогда подобные события случались в 25—100 раз чаще, чем сегодня. Весьма вероятно, что здесь в земле кроется еще немало метеоритов, в том числе и значительно более крупных.

По всей видимости, в то время на Землю низвергались мощные метеоритные дожди. Такой вывод можно сделать, в частности, исходя из анализа богатых хромом минеральных зерен в составе найденных тел. Эти минералы почти единственные, не претерпевшие существенных изменений за время своего длительного пребывания в земных условиях.

Как известно, более 90% каменных метеоритов содержат хондры (округлые зерна) и называются хондритами. Большая часть вещества хондритов — это железомagneзиальные силикаты. В зависимости от общего содержания железа (в сочетании со степенью его окисленности) хондриты подразделяются на несколько групп: Н-хондриты (от англ. high — высокий) — с высоким содержанием железа; L-хондриты (от low — низкий) — с низким содержанием и LL-хондриты — с очень малым количеством металлического железа при его низком общем содержании.

Найденные в Швеции метеориты относятся к обедненной железом группе L-хондритов. Сопос-

тавление шведских L-хондритов с прежними находками показывает, что и те, и другие претерпели мощный удар приблизительно в одно и то же время. Шмиц с коллегами предположили, что в результате мощного столкновения крупных тел, входивших в состав пояса астероидов, произошло их разрушение, обломки вышли на сходные орбиты, которые часто пересекались с орбитой Земли.

Такую гипотезу подтверждает математическое моделирование, выполненное Д.Несворни и У.Боттке (D.Nesvorny, W.Bottke; Юго-Западный исследовательский институт в Боулдере, США), причем их модель позволяет утверждать, что в то время на Землю обрушился и целый рой совсем мелких обломков. Шмиц считает, что некоторые из них могут еще сохраняться в шведских известняковых породах.

Канадский космохимик А.Хилдебранд (A.Hildebrand; Университет в Калгари, провинция Альберта) высоко оценил эту работу, указав все же, что вряд ли геологические слои, содержащие метеориты, отлагались в течение 2 млн лет. Если бы это продолжалось, скажем, 20 млн лет, поток метеоритов мог бы в количественном отношении мало отличаться от нынешнего. Возражения Шмица сводятся к тому, что в последнем случае ископаемые остатки трилобитов, залегающие совместно с метеоритами, принадлежали бы к более развитым типам.

Science. 2001. V.294. №5540. P.39 (США).

Космохимия

Пропавший космический газ нашелся

Казалось бы, звездные скопления должны «купаться» в газовых облаках: ведь из каждой звезды, равно как из нашего Солнца, исходит ветер заряженных частиц, заполняющих космическое пространство. Тем не менее вот уже около 60 лет поиски газовых облаков в пределах шаровых звездных скоплений не имели положительного результата, и теории не

могли дать тому никакого объяснения. По-видимому, ныне загадка разрешается благодаря работам международной группы астрономов во главе с П.Фрейре и М.Крамером (P.Freire, M.Kramer; Обсерватория Джодрел-Бэнк при Манчестерском университете, Великобритания). Объектом исследований было шаровое скопление 47 Тукана¹, наблюдаемое на небе Южного полушария Земли. Работа велась на 64-метровом радиотелескопе обсерватории Парк в Австралии.

Известно, что шаровые скопления — это сферические сгустки, состоящие из сотен тысяч старых звезд, которые удерживаются сравнительно близко друг к другу благодаря силам взаимного притяжения. Для понимания динамики таких объектов необходимо знать, насколько интенсивно идет «утечка» из них звездного ветра и какое количество газа остается в пределах скопления; если скорость ветра превышает примерно 50 км/с, газ может навсегда покинуть его.

Удерживаемый в скоплении газ должен легко определяться спектроскопически, однако многочисленные попытки обнаружить его так и оставались безрезультатными. Некоторые специалисты полагали, что газ выносится в межзвездное пространство излучением. В таком случае «вину» за это возлагали на многочисленные пульсары, входящие в состав 47 Тукана и генерирующие поток излучения высокой энергии.

Теперь астрономы группы Фрейре провели детальные наблюдения пульсаров с периодом обращения 15 мс — весьма компактных, быстро вращающихся звезд, которые периодически излучают в радиодиапазоне. В ходе обращения таких объектов вокруг центра звездного скопления гравитационное ускорение изменяет частоту их пульсаций. Прослеживая эти изменения в течение нескольких лет, астрономы сумели установить местонахождение отдельных пульсаров относительно центра скопления.

¹ Первоначально скопление приняли за отдельную звезду и обозначили под номером 47. — *Примеч. ред.*

Наблюдения пульсаций на большом диапазоне длин волн позволили вычислить плотность межзвездных газовых образований. Она оказалась примерно в 100 раз большей, чем в непосредственной окрестности 47 Тукана. В абсолютных величинах количество этого газа сравнительно невелико — лишь около 1/10 массы Солнца — и сосредоточено вблизи центра звездного скопления. Причину подобной разреженности газа еще только предстоит выяснить. Возможно, большая его часть выносится высокоскоростным звездным ветром или его «сдувают» пульсары. Ответить на эти вопросы намеревается видный голландский астрофизик Ф.Вербунт (F.Verbunt; Утрехтский университет), руководящий наблюдениями на радиотелескопе Вестерборкской обсерватории (Нидерланды).

Science. 2001. V.294. №5542. P.497 (США); Astrophysical Journal Letters. 2001. №10.

Организация науки. Математика

«Нобелевка» для математиков

Альфред Бернхард Нобель в своем завещании не упомянул, к сожалению, математиков. Попытки заполнить эту брешь делались и раньше: канадский филантроп и сам математик Дж.Ч.Филдс (1863—1932) основал фонд, из которого начиная с 1936 г. раз в четыре года производится награждение наиболее отличившегося за этот период представителя математической науки¹. Но, во-первых, это вчетверо реже, чем в случае Нобелевской премии, во-вторых, денежная сумма значительно ей уступает (всего 1500 долл.), в-третьих, Филдсовской премии и медали может удостоиться лишь тот, кому еще не исполнилось 40 лет. Наконец, средствами массовой информации Филдсовские награждения в лучшем случае едва упоминаются.

¹ Среди удостоенных Филдсовской премии были и наши соотечественники, в том числе: С.П.Новиков (1970), Г.А.Маргулис (1978), В.Г.Дринфельд (1990). — *Примеч. ред.*

Однако такое положение скоро изменится: в августе 2001 г. премьер-министр Норвегии Е.Стольтенберг торжественно объявил, что правительство этой скандинавской страны учреждает ежегодную премию им.Н.Х.Абеля, которая специально предназначена представителям точнейшей из наук. Событие приурочено к 200-летию со дня рождения выдающегося норвежского математика Нильса Хенрика Абеля, который, прожив всего 26 лет и умерев в 1828 г. от туберкулеза, успел немало сделать для развития разных областей этой науки.

Решение о награждении будет принимать Норвежская академия наук и литературы. Возрастных ограничений для лауреатов Абелевской премии не устанавливается. Кроме очень красивого диплома и художественно выполненной медали к ней будет прилагаться чек примерно на 500 тыс. долл. Сумма в 200 млн норвежских крон (примерно 22 млн долл.) уже предусмотрена в государственном бюджете страны на 2003 г., когда состоится первое награждение. Лауреат Филдсовской премии 1974 г. Д.Мамфорд (D.Mamford) считает, что это событие «изменит весь ландшафт мировой математики».

Science. 2001. V.293. №5536. P.1761 (США).

Физика

Квантовый компьютер разложил число 15 на множители

Сотрудники фирмы «IBM Almaden Research Center» и Станфордского университета в Калифорнии (США) сообщили о реализации алгоритма Шора на квантовом компьютере из семи кубитов. Этому прообразу квантового компьютера удалось разложить на множители число 15. Физическую роль кубитов¹ играли семь ядер со спином $1/2$, содержащихся в одной молекуле. Управление состояниями отдельных кубитов было осно-

¹ Подробнее см.: Звездин А.К. Магнитные молекулы и квантовая механика // Природа. 2000. №12. С.18.

вано на ядерно-магнитном резонансе (ЯМР). Взаимодействие между спинами ядер осуществлялось через электроны внешних оболочек. Таким образом, однокубитные операции выполнялись с помощью радиочастотных импульсов, а двухкубитные происходили как бы сами собой из-за постоянного взаимодействия кубитов — необходимо было только выждать определенное время.

Невозможность управления силой взаимодействия между кубитами (например, осуществлять включение и выключение) потребовала специальной реализации алгоритма Шора. Огромное число молекул, помещенных в колбу с жидкостью, фактически представляло собой ансамбль, в котором множество маленьких компьютеров (молекул) работало параллельно. Это позволило получить макроскопический сигнал ЯМР для считывания конечного результата. Попутно изучались процессы декогеренции в системе и их влияние на выполнение алгоритма.

Конечно, представленные результаты являют яркое экспериментальное воплощение идей квантовых вычислений. Однако дотянуть на жидкостных квантовых компьютерах до практически значимых расчетов, требующих более 1000 кубитов, не удастся. Нужны новые подходы.

Nature. 2001. V.414. P.863 (Великобритания); <http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/>

Электроника

Материалы для приборов ночного видения

Если на поверхность полупроводника с дырочным типом проводимости нанести специальное, очень тонкое, покрытие, работа выхода из него будет много меньше, чем из самого полупроводника. Так достигается эффект отрицательного электронного сродства (ОЭС). Например, достаточно нанести на поверхность кремниевой пластины монослой из атомов цезия, как энергия дна зоны проводимости в объеме кристалла окажется выше уровня вакуума на поверх-

ности. В такой ситуации фотовозбужденные электроны легко покидают полупроводник и вылетают в вакуум, если, конечно, при этом они не погибнут по дороге к поверхности, встретив на своем пути дырку, и не отразятся от границы раздела полупроводник—активирующее покрытие. К несчастью, и то, и другое всегда возможно.

Тем не менее по величине внешнего квантового выхода в интересной для ночных охотников инфракрасной области спектра ($\lambda > 0.8$ мкм) у фотокатодов с ОЭС просто нет конкурентов. Чаще всего подходящее покрытие — это цезий+кислород. Кислород иногда заменяют фтором, получается тоже неплохо, но тонкое аморфное покрытие, состоящее из летучих веществ, довольно капризно. И разработчики, и изготовители этого популярного прибора давно пытаются заменить его на более прочную монокристаллическую пленку. К тому же цена современного прибора ночного видения, использующего цезиевое покрытие, сравнима со стоимостью среднего автомобиля.

В этой ситуации на сцене появляются соединения редкоземельных металлов с халькогенами (серой, селеном или теллуром). Несмотря на простоту кристаллической структуры монокристаллических соединений, межатомная связь у них удивительно прочная: температура плавления моносльфидов почти всегда выше 2000°C. По своим электронным свойствам это типичные металлы, но с удивительно малой работой выхода (<1.5 эВ). Поэтому, если, например, на поверхности дырочного легированного полупроводника из фосфида индия эпитаксиально вырастить два-три монослоя моносulfида лантана (LaS), то, как показывают недавно опубликованные расчеты¹, формируется структура с ОЭС. Дополнительная удача — у такой пары близкие постоянные кристаллической решетки. Для производителей приборов ночного видения это хорошая новость.

<http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/>

¹ Phys. Rev. B. 2002. V.65. Paper 033304.

Флора островов Галапагос в опасности

Долгое время о-ва Галапагос считались затерянным миром. Их обособленное положение и обилие эндемиков привлекли в свое время внимание Ч.Дарвина — именно здесь, где легко проследить процесс приспособления разных видов к условиям среды, он обосновал свою эволюционную теорию. Однако с тех пор островная растительность сильно изменилась.

Когда в 1535 г. о-ва Галапагос были открыты европейцами, там насчитывалось около 500 видов растений, а впоследствии появилось примерно 600 чужеземных. Среди них немало съедобных (например, гуайява, банан, апельсин и ананас), есть и декоративные формы (бугенвиллея, гибискус, мадагаскарский барвинок, олеандр и др.). Для нужд строительства и на топливо стали выращивать кедр, а на медицинские цели — хинное дерево.

По состоянию на 2001 г. 45% интродуцированных растений уже можно считать законными представителями островной флоры. Ботаники установили, что 7% «пришельцев» весьма агрессивны: они успешно конкурируют с «аборигенами», а около 20% — потенциально опасны. Самое отрицательное воздействие на традиционную растительность оказывают бриофиллум перистый (*Bryophyllum pinnatum*, семейство толстянковых), лантана камара (*Lantana camara*, вербеновые), хинное дерево (*Cinchona pubescens*), гуайява (*Psidium guajava*) и др. Характерно, что в наибольшей степени пострадали от вселенцев те четыре острова архипелага, где обитает человек. За время, прошедшее с их открытия, люди вольно или невольно ежегодно укореняли в среднем более одного растения-чужака, тогда как естественным образом новый вид появлялся примерно раз в 10 тыс. лет.

Подобные процессы идут и в иных уголках земного шара, принося существенный ущерб не

только природной среде, но зачатую и экономике регионов: согласно подсчетам, убытки в каждом случае могут достигать 100 млн долл. в год. Особенно страдают экологические системы малых островных государств. Одна из статей Международной конвенции по биологическому разнообразию призывает ее участников предотвратить интродукцию видов, угрожающих местным экосистемам, или установить контроль за ними. О-ва Галапагос — пример легко уязвимых территорий, а по принимаемым защитным мерам — образец для подражания.

Чтобы прекратить ввоз новых видов растений, сотрудники национального парка «Галапагос им.Ч.Дарвина» и других организаций создали эффективную систему строгого таможенного контроля и карантина. Среди населения ведется активная разъяснительная кампания с целью не допустить дальнейшей «оккупации» островов новыми для них видами флоры и фауны.

Science. 2001. V.294. №5545. P.1279 (США); Bioscience. 2000. V.50. P.53.

Экология

Волк вернулся

На территории Германии последний волк (*Canis lupus*) был убит в середине XIX в. Правда, лет 20 назад стали изредка появляться сообщения, что кто-то сбил волка на шоссе, но постоянно живущих в стране семейных пар и тем более волчьих стай не видели¹.

И вот новость: в Саксонии, на территории, принадлежавшей ранее военному полигону, лесники обнаружили семью этих хищников — супружескую пару и шестерых щенят (четверых годовалых и двух совсем маленьких). В Германии это первый за полтора века случай размножения волка на воле!

Биолог Ф.Мёршель (R.Morshel; отделение Международного фонда дикой природы во Франкфурте-на-Майне) считает, что это ненаселенное и богатое пищей место

¹ См. также: Бибииков ДИ. Волк: и хищник, и жертва // Природа. 1996. №10. С.36—46.

идеально для животных. По его мнению, семья вскоре расширит свои владения (хотя и сейчас уже их площадь вдвое превышает территорию бывшего полигона). Если при этом хищник начнет нападать на домашний скот, возможны конфликты с населением.

Science. 2001. V.294. №5547. P.1649 (США).

Геотектоника

«Пригвожденный к месту» Африканский континент

Африканский континент за 200 млн лет почти не сместился относительно лежащего под ним участка мантии, а в последние 30 млн лет вообще оставался фактически неподвижным. Геолог К.Бёрк (K.Burke; Хьюстонский университет в штате Техас) находит нетрадиционное объяснение: в этом районе нет холодных и плотных литосферных плит (столь характерных для Японских о-вов и Южной Америки), которые, погружаясь в мантию, мощно тянут за собой соседние. Африканский континент и окружающая его литосфера почти со всех сторон ограничены срединно-океаническими хребтами, а образующаяся в процессе спрединга молодая кора, медленно растекаясь в стороны от хребтов, весьма слабо «толкает» материк. Отсутствие воздействующих на Африку плит означает, что здесь давно уже не действует процесс холодного «затягивания» слоев коры в глубины мантии, а без такого охлаждения она под материком постепенно разогревается.

Бёрк построил математическую модель, описывающую геодинамические процессы на протяжении последних 250 млн лет, и проследил ход повышения температур под континентом. Считается, что на этот период пришлось 29 эпизодов массового излияния глубинных пород на поверхность земного шара, создавших крупные магматические провинции. Бёрк обнаружил, что из 26 рассмотренных им провинций (в число которых вошли и Сибирские траппы — одна из крупнейших на Земле магмати-

ческих провинций) 25 сформировались либо в Тихом океане, либо в Африке. Именно в этих регионах сейсмическим зондированием выявлено существование мантийных суперплюмов, которые прослеживаются вплоть до земного ядра.

Согласно новой гипотезе, за геологические особенности Африканского континента, сложившиеся в последние 30 млн лет, отвечает подъем очередного плюма к поверхности. До этого эпизода Африка была сравнительно низинной и слабо пересеченной территорией. Когда же в районе, где теперь находится Эфиопия, гигантский плюм приподнял плиту, образовался купол поперечником около 1 тыс. км — Афарская магматическая провинция. Примерно в то же время всякое перемещение Африки приостановилось: нажим со стороны срединно-океанических хребтов был слишком слаб, чтобы сдвигать Африканскую плиту и перемещать ее через порожденное плюмом возвышение, — плита оказалась «пригвожденной к месту».

Это — ключевое событие для дальнейшей геологической истории материка. Афарский плюм пребывает в одном и том же месте десятки миллионов лет, а Красное море, Аденский залив и Восточно-Африканская рифтовая система раздвигаются. Сложившиеся климатические условия оказались подходящими, чтобы этот регион стал колыбелью человечества: ведь именно здесь находится знаменитое Олдувайское ущелье с древнейшими останками *Homo*.

Бёрк полагает, что под «пригвожденной» Африканской плитой участок мантии перешел в систему тепловой циркуляции: вместо того чтобы мантийный материал перетекал единой широкой струей, у которой один конец медленно приподнимается, а другой погружается, возникшая конвективная циркуляция ведет к распаду системы на ряд мелких ячеек, подобно тому как это наблюдается в сосуде с кипящей водой. Конвективные образования подповерхностных волнистых возвышений существуют более чем в 30 ячей-

ках, расположенных по всему Африканскому континенту. Большинство возвышений увенчаны вулканами, которые, надо полагать, подпитываются неглубоко залегающей магмой. Эрозия возвышений, происходящая особенно активно в Центральной и Северной Африке, приводит к выносу реками осадочных пород в прибрежные районы материка. Здесь эти породы перекрывают богатые органикой осадки, порожденные предыдущей активностью плюмов; это создает условия для образования залежей нефти в дельте р.Нигер и глубоководном конусе выноса р.Конго.

Гипотеза, основанная на столь разветвленной цепи взаимосвязанных событий, вызвала дискуссию среди специалистов, которая отразилась на страницах геофизических журналов.

Science. 2001. V.294. №5541. P.287 (США).

Геофизика

Цунами в компьютере

17 июля 1998 г. на побережье Папуа—Новой Гвинеи внезапно обрушилась гигантская волна. Высота ее гребня достигала 20 м; вдоль 25-километрового участка берега она разрушила все на своем пути, а после ухода оставила больше сотни погибших; трупы несчастных находили на вершинах высоких деревьев. Три деревни были смыты с лица Земли.

На место трагедии около залива Сиссамо немедленно прибыла международная группа гидрологов, сейсмологов, геофизиков, специалистов по гидравлике и математическому моделированию естественных процессов. Они измерили высоту отметок, оставленных цунами на окрестных объектах, установили степень и характер повреждений, опросили уцелевших свидетелей, собрали сейсмологические и гидроакустические данные. И все-таки оставалось загадкой, каким образом зафиксированное на сейсмограммах сравнительно слабое землетрясение на морском дне могло породить столь высокую волну.

Три года потребовалось на обработку данных и построение компьютерной модели; выводы были доложены на двух созванных летом 2001 г. международных симпозиумах — в Стамбуле (Турция) и в Сиэтле (США). Особый интерес специалистов вызвал совместный доклад инженера по укреплению морских берегов К.Синолакиса (С.Synolakis; Университет Южной Калифорнии в Лос-Анджелесе) и сейсмолога Э.Окала (Е.Okal; Северо-Западный университет в Эванстоне). По их мнению, прямым виновником трагедии было не землетрясение, а крупный подводный оползень. К такому заключению они пришли на основе изучения подробнейшей карты морского дна, построенной усилиями Японского центра морских наук и технологий и международной Южно-Тихоокеанской комиссии по прикладным наукам о Земле.

На этой карте в 25 км от Сиссамо четко различалось нагромождение свежих пород, характерное для крупного оползня. Когда эту информацию сопоставили с сейсмограммами и гидроакустическими данными, выяснилось, что и среди них есть свидетельства мощного события, произошедшего здесь как раз 17 июля 1998 г. Компьютер уверенно подтвердил: сперва на дне произошел не очень сильный подземный толчок, от него по донному склону стали перемещаться рыхлые и слабо закрепленные породы, а затем уж этот оползень всколыхнул водную стихию. На ее поверхности возникла волна, которая у берега поднялась на 20 м и, перескочив через песчаную косу, рухнула на ближайшие населенные пункты.

Это — достаточно редкий случай, когда с уверенностью была распознана причина одного из самых мощных цунами нашего времени. Не менее важно, что впервые удалось построить надежную компьютерную модель возникновения цунами от подводного оползня и дальнейшего развития событий с картиной выхода на берег и затопления немалой территории.

Большие надежды в вопросах прогнозирования и оценки вызываемого цунами риска возлагаются на создаваемую ныне американскую систему DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis)¹, в рамках которой в различных акваториях устанавливаются приборы раннего их обнаружения.

Science. 2001. V.293. №5533. P.1251 (США).

Океанология

Океанологический прогноз на месяц

Новая методика долгосрочно-го прогноза состояния океанических вод разработана О.Смедстадом (O.Smedstad; компания «Planning System Inc.») совместно с коллегами из Исследовательской лаборатории ВМФ США при Космическом центре им.Стенниса.

С начала 90-х годов изучение океанических воронок — важной составляющей морских течений — осуществлялось путем разбивки океана на блоки со стороной 0,5° и вычисления средних параметров такого участка. Но столь малое разрешение не позволяло построить достаточно надежную компьютерную модель долгосрочного прогноза. Ныне специалисты перешли к модели слоистого океана (Layered Ocean Model), которая дает возможность оценить поведение водоворотов диаметром 50—100 км, благодаря чему прогноз может достигать 30-суточной заблаговременности. Анализируемые блоки водных масс составляют всего 1/16 градуса с разрешением 6—7 км, что отчетливо характеризует любую отдельную воронку в средних широтах. Программа не учитывает параметры мелководья над континентальными шельфами.

Исследователи используют мощный параллельный компьютер «IBM Winter Hawk-2» с 216 процессорами; его быстродействие достигает 35 гигафлопс (в прежних работах были задейст-

¹ Подробнее см.: Как противостоять цунами? // Природа. 2002. №5. С.83.

вованы восемь процессоров, работающих параллельно со скоростями немного более 1 Гфл).

Оперативную информацию о температуре поверхностного слоя океана и его форме собирают спутники Земли. Данные отражают характер течений в соответствии с конкретным расположением областей высокого и низкого атмосферного давления. Модель учитывает воздействие воздушных потоков на поверхность океана и на теплоэнергообмен между обеими стихиями. Оперативную картину состояния океана модель выдает ежедневно, затем следует прогноз заблаговременностью 4 сут; каждую среду вырабатывается прогноз на месяц. Правда, в наиболее динамичных акваториях Мирового океана, например в зоне Гольфстрима, прогноз остается надежным лишь на две недели.

Пробная эксплуатация системы шла с октября 2000 г., а ее рабочее применение началось с октября 2001 г. Прогнозом теперь постоянно пользуются компании, добывающие нефть на морских платформах, некоторые рыболовческие фирмы, а также биологи, следящие за перемещением китов и других морских животных в северо-западном секторе Тихого океана, и др.

Science. 2002. V.295. №5553. P.260 (США);

Вулканология

Странная гора Мак-Кинли

Высочайшая в Северной Америке гора Мак-Кинли (6194 м над ур.м.) находится в центральной части Аляскинского хребта, вулканически не активного (по крайней мере севернее р.Баззард). Однако К.Най (С.Нуе; Вулканологическая обсерватория при Университете штата Аляска в Фэрбенксе) заметил, что, судя по геофизическим и геологическим данным, процессы, идущие в недрах этой горной системы, в особенности под Мак-Кинли, такие же, что и на вулканически активном южном побережье Аляски. Тем не менее эта гора не вулкан.

О сходстве недр говорят маары (воронки, оставшиеся после взрыва вырвавшихся из-под земли газов), находящиеся по берегам р.Баззард, чуть севернее соседнего г.Хили. Они образовались здесь около 3 тыс. лет назад; слагающие их породы не отличаются по химическому составу от вулканов Алеутской островной дуги, которых насчитывается более сотни. Самый северо-восточный из них, Спурр, расположен на берегу залива Кука; он проявляет постоянную активность, угрожая г.Анкориджу. Далее к югу — 350-километровый вулканический «пробел» (Най назвал его Денали). Между тем именно в этом регионе, под Денали и значительной частью всей Аляски, Северо-Американская плита погружается под Тихоокеанскую, при их соприкосновении нередко возникают сильные землетрясения, обычно сопровождающиеся вулканической активностью.

О продолжающемся погружении одной плиты под другую говорят частые подземные толчки в районе Аляскинского хребта. М.Уисс (М.Уисс; Геофизический институт при Университете штата Аляска) утверждает, что магнитуда толчков и частота их повторяемости под горой Мак-Кинли такие же, как и под другими островными дугами, в том числе и под вулканами около залива Кука. Более того, слабых толчков здесь даже больше, что указывает на близкое к поверхности расположение бурлящих магматических очагов — примерно в 100 км под Мак-Кинли.

Что же помешало образоваться вулканам в районе между горой Спурр и р.Баззард? Возможно, блок земной коры, лежащий под южной частью Аляски, так плотно прижат к Северо-Американской плите, что расплавленные магматические породы в западной части Аляскинского хребта не могут выйти на поверхность. Однако проверить эту гипотезу ученые пока еще не смогли.

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

Климатология

Тропики влияют на климат Северной Атлантики

В течение последнего полувека в Северной Атлантике происходили существенные изменения климата. Десятилетние колебания, налагающиеся на общий тренд, особенно заметны на примере атмосферной Северо-Атлантической осцилляции¹. При положительной фазе в средних широтах усиливаются западные ветры, что сопровождается аномально низким давлением над субполярной акваторией Северной Атлантики и аномально высоким — над субтропической; причем эти колебания охватывают все пространство от водной поверхности до стратосферы. Такие «качели» в атмосферной циркуляции вносят весомый вклад в потепление всей поверхности Северного полушария и связанные с ним крупномасштабные изменения количества осадков над Европой и Средним Востоком, однако понимания физического механизма этих процессов до сих пор нет.

Существенный шаг в этом направлении сделала группа специалистов под руководством М.П.Хёрлинга и Дж.У.Херрелла (М.Р. Hoerling, J.W. Hurrell; Лаборатория по исследованию природной среды при Национальном управлении США по изучению океана и атмосферы). Используя данные, полученные в ходе выполнения программы GOGA (Global Ocean Global Atmosphere), а также всю доступную информацию о динамике температур поверхности океана и концентрации плавучих льдов в мировом масштабе за последние 50 лет, они построили математическую модель, которая показала, что вариации климата Северной Атлантики отнюдь не случайны — в известной мере они представляют собой реакцию на изменение по-

верхностной температуры Мирового океана и состояние ледового покрова.

Установлено также, что тенденции изменения климата в Северной Атлантике — это составляющая наблюдаемых перемен в характере атмосферной циркуляции всего полушария, связанных с низким давлением над центральной частью северной акватории Тихого океана и высоким давлением над Западной Канадой. На изменения зимней погоды в Северной Атлантике и Европе, наблюдаемые с 1950 г., существенно влияет потепление поверхностного слоя океана в тропиках, причем основную роль, несмотря на удаленность, играют Индийский и Тихий океаны.

До недавнего времени полагали, что только в Тихом океане такие явления, как Эль-Ниньо—Южная осцилляция, приводят к заметным изменениям климата в очень отдаленных регионах. Теперь очевидно, что сходные процессы происходят и в других частях Мирового океана.

Science. 2001. V.292. № 5514. P.90 (США).

Палеоантропология

Скорость роста зубов у *Homo erectus*

Одна из главных черт, отличающих человека от остальных приматов, — длительный период взросления, во время которого формируются сложные структуры головного мозга. Однако возникновение таких особенностей трудно проследить по ископаемым останкам. Для этого используются разные косвенные данные. Известно, что появление или исчезновение некоторых зубов означает конец определенного периода развития; например, третьи моляры — зубы мудрости — прорезаются в конце юношеского возраста. Определив время появления тех или иных зубов, можно понять, как проходил процесс взросления и, следовательно, как развит был мозг данного индивида.

Долгое время считалось, что человек прямоходящий (*H.erec-*

tus), который жил примерно 1.9—0.8 млн лет назад, уже обладал развитым интеллектом. На это указывают изготовленные им разнообразными орудия, большой объем мозга, а также картина развития зубов, свидетельствующая, казалось бы, о длительном периоде детства. Однако К.Дин из Лондонского университетского колледжа и его коллеги¹, исследовав не порядок появления зубов, а скорость их роста, получили иную картину. Дело в том, что эмаль и дентин, из которых состоят зубы человека, выделяются не непрерывно, а с суточной периодичностью, благодаря чему образуется слоистая структура. По толщине слоя эмали, образовавшегося за день, можно определить скорость роста зубов, а она прямо связана с этапами развития человека.

Дин изучал этим методом скорость роста зубов у неандертальца, у человека умелого (*H.habilis*), жившего 2.3—1.8 млн лет назад, у *H.erectus* и австралопитека (4.2—3.9 млн лет назад). Результаты подтвердили схожесть по этому признаку *H.habilis*, *H.erectus* и *Australopithecus*, причем зубы у них развивались гораздо быстрее, чем у современного человека. Дин и его коллеги полагают, что эволюция различных структур мозга и тела происходила мозаично. Некоторые признаки менялись скачками — так было и со скоростью роста зубов у *H.erectus*.

Исследования английских ученых означают, что для получения полной и ясной картины эволюции *H.sapiens* нужно принимать во внимание все известные факты, а некоторые морфологические особенности, наблюдаемые в ископаемых остатках (размер мозга, двуногое хождение, порядок появления зубов) не могут быть объяснены сами по себе.

© Д.А.Гиляров

Москва

¹ См. также: Арктическая осцилляция — новый климатический фактор // Природа. 2000. №3. С.79—80.

¹ Dean C. et al. // Nature. 2001. V.414. №6864. P628—631.

Поэма о совершенстве красоты бабочек

В.Б.Чернышев,

доктор биологических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Что такое бабочки с точки зрения энтомолога-систематика? Всего лишь один из почти трех десятков отрядов насекомых, который в науке носит очень точное, но невыразительное название — чешуекрылые. Да и, вообще, что такое насекомые? Природа не создала ни одной конструкции, которая была бы удачнее и совершеннее, чем насекомые. Доказательства? Насекомых не менее двух миллионов видов, т.е. больше, чем остальных животных и растений. Они способны жить всюду на нашей планете — почти от полюса до полюса.

При всей эффектности оформления книгу, посвященную бабочкам, никак нельзя назвать только научно-популярной, тем более развлекательной. В ней содержится много интересной информации, полученной самими авторами в их многочисленных экспедициях, кроме того, это достаточно полный обзор по биологии бабочек и их географическому распространению. Наконец, это прекрасное дополнение к учебным курсам и инструкциям по сбору и изучению бабочек для натуралиста любого возраста.

На что прежде всего обращать внимание? Авторы по-настоящему влюблены в насекомых, исполнены восторга перед природой. Отсюда и поэтичность, пронизывающая всю книгу. Не случайно и название вводного

раздела — «Объект поклонения, источник вдохновения, предмет страсти».

По содержанию книга четко делится на две части. Первая называется «Мир бабочек» и представляет собой увлекательный обзор, в котором рассказывается о биологии бабочек, их охране и коллекционировании. Однако неграмотный, и тем более алчный, коллекционер может нанести непоправимый вред. В природе отрицательное влияние любых факторов автоматически снижается, если численность популяции мала. Так достигается бесконечно долгое существование всех видов. Коллекционер же, наоборот, целенаправленно собирает именно редкие и малочисленные формы, что может нарушить часто зыбкое равновесие и привести к полной гибели вида. Никакая птица, никакой яркий уличный фонарь не способны нанести такой вред.

Обзор написан со знанием дела и может стать отдельной книгой для студента и просто любителя природы. Конечно, далеко не все, что можно рассказать о бабочках, есть в нем. Однако я уверен, что даже самый привередливый специалист положительно оценит этот раздел. Единственное замечание, которое, на мой взгляд, необходимо высказать: неверно утверждение, что все существование взрослой особи (имаго) направлено только на размножение. Сами же авторы далее опровергают этот тезис, описывая миграции бабочек. Направлены



Л.В.Каабак, А.В.Сочивко.
БАБОЧКИ МИРА / Под ред.
В.А.Володина.

М.: Аванта +, 2001. 184 с.
(Самые красивые и знаменитые)

миграции или нет, но в любом случае — это завоевание новых территорий, подходящих для жизни данного вида, а также обогащение генофонда местных популяций. Именно расселение наряду с размножением — основные функции имаго бабочек, да и других насекомых. У некоторых видов бабочек самки не могут летать и функцию расселения берут на себя в основном гусеницы, но самцы прекрасно летают.

Вторая часть книги, названная «Бабочки мира», иллюстрирована великолепными фотографиями и снабжена довольно обширными, содержательными комментариями, из которых можно узнать о географическом распространении, формах, а также некоторых особенностях биологии видов. Их выбор, конечно, субъективен, но для описания всех красивых бабочек понадобилось бы более десятка таких томов. Приведенная информация касается только относительно крупных форм, хотя мелкие бабочки тоже достойны этого: при соответствующем увеличении

оказываются не менее эффектными и оригинальными.

Приятно, что после описания роскошной экзотики приведен небольшой раздел — «Самые красивые бабочки России». В нем собрана информация всего о нескольких видах, более скромных, но не менее привлекательных, чем тропические.

Поражаешься, как много интереснейших личных наблюдений авторов вошло в книгу. Они были проведены как в России, так и в других странах и придают изданию особую свежесть.

В целом книга прекрасно написана. Фотографии, сделанные А.В.Сочивко, безупречно воспроизводят не только цвет, но даже тонкую фактуру крыла. И все-таки жаль, что ни один, даже самый талантливый рисунок или фотоснимок не может передать неповторимую и живую игру света на крыльях подлинных бабочек.

Я понимаю, что в подобном издании, по-видимому, неуместны библиографические ссылки. Но хотя бы небольшой список ли-

тературы, рекомендуемой тем, кто особенно заинтересуется бабочками, было бы полезно поместить.

Итак, эта книга — и научный труд, и великолепный художественный альбом, и учебное пособие.

Но, на мой взгляд, в рецензии необходимо остановиться и на других важных аспектах — социальных. Рассмотрите внимательно фотографии в книге и вы увидите самые неожиданные сочетания цветов, иногда очень резкие, фантастические и оригинальные формы. Но вы никогда не найдете то, что сейчас так часто встречается в иллюстрациях, на тканях, обоях, одежде, — у бабочек нет вульгарных безвкусных сочетаний. Каждому художнику, дизайнеру, модельеру полезно было бы посмотреть эти рисунки (или сами коллекции) и учиться у природы.

И наконец, что еще более важно, книга дает возможность увидеть подлинную красоту природы. В наше время это еще один путь к тому, чтобы человек оставался собой, а не превращался в амёбу. ■

Жемчужины Дальнего Востока

К.Н.Несис,

доктор биологических наук

Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН

Две книги, написанные известным зоологом доктором биологических наук В.С.Левиним, отчасти построены по общей схеме: систематическое положение, строение, распространение, питание, поведение, раз-

множение, развитие и рост, численность и биомасса и промысел животных, их враги и паразиты. Далее идут различия. В книге о дальневосточном трепанге большое внимание уделено его искусственному воспроизводству, охране, технологии обработки и фармакологии. В другой книге

описаны линька и дальние миграции камчатского краба, столь для него характерные и, естественно, отсутствующие у трепанга. Есть глава и о разведении, но особенное внимание уделено переселению камчатского краба в Баренцево море — одному из немногих в нашей стране успешных опытов

© К.Н.Несис

плановой акклиматизации морского беспозвоночного в новом для него ареале.

Строение и биология этих животных полны удивительных и малоизвестных особенностей. Например, тело трепанга может быть жестким и упругим, но почти мгновенно становится таким мягким, что буквально протекает между пальцев и может быстро превратиться в отвратительную кашу. Трепанг способен обновлять все свои внутренности, выбрасывая через заднепроходное отверстие мощную струю воды и с ней все органы пищеварительной, дыхательной и репродуктивной системы. Это происходит в определенный сезон или в любое время, но под действием повышенной температуры воды или химических раздражителей. На месте отброшенных органов довольно быстро появляются новые.

Размножение камчатского краба включает ритуал «рукопожатия», когда самец хватается клешнями самку «за руки» и удерживает ее «лицом» к себе в течение одной-двух недель (в аквариуме — до двух месяцев), пока она не перелиняет. При этом животные практически прекращают кормиться. В момент спаривания самку пытаются удерживать сразу несколько самцов, борющихся между собой. Еще одна удивительная черта биологии крабов — открытое в начале 60-х годов образование «кучи малы» у молодежи в возрасте двух-трех лет. «Кучу» составляют сотни и тысячи крабов, перемещающихся в ходе нагульных миграций совместно. Для чего? Загадка.

При всех бросающихся в глаза различиях у краба и трепанга общая и печальная участь — браконьерский лов, угрожающий существованию обоих видов. Краба отлавливают промысловые суда, оснащенные специальным оборудованием, и увозят в основном в Японию, а трепанга аквалангисты-одиночки поставляют в Китай. Неофициальный промысел краба в последние годы приобрел размах, сравнимый с квотированным выловом, и ситуация быстро при-

ближается к критической. Промысел трепанга в Приморском крае почти на 100% браконьерский, и сейчас вооруженные разбойники, несмотря на все усилия рыбоохраны и пограничников, пытаются громить последние уцелевшие островки зоны обитания этого животного — угодья в Дальневосточном морском заповеднике.

Для чего ловят краба — понятно каждому, кому хоть раз довелось полакомиться его вкуснейшим мясом. Трепанг — другое дело, это продукт на любителя. Помнится, как в давние времена, когда трепанга было изобилие, я наловил с друзьями целое ведро, сварил — и съел чуть ли не в одиночку, все прочие, чуть попробовав, отвернулись. А ведь неплохие были трепанги! Но ловят и едят их в основном из-за возбуждающих свойств, приписываемых им сладострастными китайцами. Легенды и домыслы о чудодейственных свойствах трепанга неисчислимы, недаром его называют морским женьшенем. В книге говорится, что трепанг действительно содержит богатый набор биологически активных веществ — тритерпеновых гликозидов, липидов и гексоаминов, обладающих цитостатическим, антисклеротическим, противовоспалительным, противогрибковым действием. Но вот сведений об его возбуждающей активности в рецензируемой книге найти не удалось!

Искусственное разведение трепанга хорошо освоено, особенно в КНР (китайскому опыту посвящена специальная глава). Напротив, разведение камчатского краба только начинается. Но очевидно, что не в борьбе с хищническим браконьерским выловом будущее этих жемчужин нашего Дальнего Востока.

Обе работы хорошо изданы. Первой особую ценность придать многочисленным подводные фотографии, которых, к сожалению, почти нет во второй. Книги заполняют важный пробел в литературе о животном мире наших морей, и тех, кому повезет их достать (тираж по 500 экз.), ждет увлекательное чтение. ■



В.С.Левин. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ТРЕПАНГ: Биология, промысел, воспроизводство.

СПб.: Голанд, 2000. 200 с.

В.С.Левин. КАМЧАТСКИЙ КРАБ: Биология, промысел, воспроизводство.

СПб.: Ижица, 2001. 198 с.

Химия. Экология

С.С.Юфит. ЯДЫ ВОКРУГ НАС: Цикл лекций. М.: Джеймс, 2001. 400 с.

Автор — доктор химических наук, ведущий сотрудник Института органической химии им.Н.Д.Зелинского РАН — занимается исследованиями по деструкции опасных токсикантов, принимает активное участие в создании антидиоксиновой программы в России.

В последнее время внимание общественности привлекла группа стойких органических загрязнителей, которые относятся к классу хлорорганических соединений. Многие известны уже давно и использовались в качестве пестицидов в народном хозяйстве большинства стран. В окружающей среде такие загрязнители могут сохраняться десятки и даже сотни лет. Некоторые аккумулируются в тканях живых организмов.

Хлорорганические соединения часто очень токсичны в ничтожных концентрациях. Их действие проявляется в нарушении репродуктивной и гормональной систем, генетических мутациях, врожденных дефектах, снижении иммунного статуса и развития организма в целом, а также в возникновении раковых и других заболеваний у человека.

Стойкие органические загрязнения образуются в районах, где находится большинство химических и других промышленных производств, а теперь обнаружены даже в холодных северных широтах Арктики.

Цикл лекций подготовлен автором при поддержке Фонда Дж. и К.Макартуров (США) и адресован не только участникам экологических движений и организаций, но и всем, кто озабочен состоянием окружающей среды и здоровьем людей.

Охрана природы

СЕВЕР И ЭКОЛОГИЯ — 21 ВЕК: Экологическое образование и воспитание. Труды межрегиональной конференции северных регионов РФ. М.: Научный мир, 2001. 602 с.

Ухта — один из базовых городов нефтедобывающей отрасли Республики Коми не случайно был выбран местом проведения межрегиональной конференции, посвященной Северу.

Старейший технический вуз (Ухтинский индустриальный институт) сегодня получил статус университета, в структуре которого был организован гуманитарный факультет, что особенно важно для междисциплинарных исследований. Роль геологии, химии, физики и других естественнонаучных дисциплин в охране природы очевидна. Это позволит создать интересное проблемное поле для многих кафедр УхтГТУ.

На конференции была выдвинута идея о непрерывности образовательного процесса, что позволило педагогам общаться с учеными, руководителями предприятий нефтяной и угольной промышленности и различных общественных организаций.

Среди участников было много прекрасных учителей. Они привезли с собой лучших учеников — победителей олимпиад и конкурсов.

В книге представлены результаты научных исследований и практических разработок по улучшению профессиональной подготовки работников образования и специалистов в области охраны природы. Особое внимание уделено возрождению культуры коренных народов Севера как важному условию сохранения природных богатств региона.

История науки

М.М.Ермолаев (в соавторстве с Т.Львовой). ВОСПОМИНАНИЯ. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 290 с.

Автор — доктор геолого-минералогических наук, профессор физической географии. Но книга эта не ученый трактат и не научно-популярный очерк, а свободный, взволнованный рассказ о яркой романтической молодости, насильственно оборванной в 1938 г. Ермолаев принадлежал к «гнезду Самойловича» — первому поколению советских полярников. Будучи родственником, учеником и младшим коллегой Р.М.Самойловича, Ермолаев попал в Арктику 19-летним юношей в 1925 г. Участвовал во многих полярных экспедициях и зимовках. Был начальником станции Второго Международного полярного года в Русской Гавани на Северном острове Новой Земли (1932/33 г.).

Именно в тот период, о котором рассказывается в книге, были заложены основы дальнейших арктических путешествий и исследований, получивших мировую известность.

Михаил Михайлович вспоминал Арктику своей молодости, а помогала ему в работе над книгой Т.Львова в самые последние годы его жизни. Им удалось сделать примерно половину задуманного.

Ермолаев был удивительно разносторонним ученым. Кроме уже упомянутого, он серьезно занимался и геоморфологией, геологоразведкой, сейсмоакустическим зондированием стратосферы, экологией и даже психологией. Многие специалисты считали его своим коллегой. На фоне дробления наук он возвышается как всеобъемлющий естествоиспытатель.

Природа как источник вдохновения

И.В.Портнова,
кандидат искусствоведения
Москва

Государственный биологический музей им.К.А.Тимирязева — комплексный естественнонаучный музей, созданный в 1922 г. Коллекции и экспозиции отражают все многообразие форм и проявлений живой природы. По разнообразию тематики в России нет другого подобного музея. Его фонды насчитывают свыше 60 тыс. единиц хранения: зооло-

гические и ботанические экземпляры, анатомические препараты, скульптурные антропологические реконструкции, уникальные муляжи грибов и плодов, редкие книги.

Концепцию музея можно выразить словами: «Человек и природа». В основе — отражение двух направлений в познании природы: науки (научная картина мира) и искусства (природа как источник вдохновения для творчества).

Важное место в собрании музея занимает небольшая по объему, но разнообразная коллекция произведений искусства, основная тема которых — мир живой природы.

Галерея «Райский сад». Светлый, камерный зал Биологического музея. В живописной композиции, каждый на своем месте, уютно расположились животные. Кабан и леопард прислушиваются к звукам леса,

© И.В.Портнова



Маугли. Бетон. Скульпторы Т.П. и С.А.Лоик.

Сокол. Бронза. Скульптор
Р.Шерифзянов.



Маска тигра. Керамика. Скульптор
Р.Шерифзянов.



Бенгальский варан. Графика. Художник Л.В.Хинштейн.



Северные олени. Графика. Художник Л.В.Хинштейн.

В конце номера

длинноногий журавлик раскладывается перед нами, семейка большеглазых лемурув взирает с высоты своих убежищ... Это скульптуры и графические листы художников-анималистов: А.Цветкова, С.Лоика, А.Белашова, Р.Шерифзянова, А.Марца, М.Островской, Д.Успенского, Л.Хинштейн, И.Маковеевой и др. И весь этот «ворох зверья» деликатно оформлен различными растениями из музейной оранжереи, которые вносят естественность и необходимую гармонию.

Потребность в создании подобной галереи возникла давно. В XX в. анималистический жанр стал носителем нравст-

венно-этической проблематики, своеобразным ориентиром новых веяний и мыслей, очень точно реагируя на приметы времени. Выросла и когорта художников-анималистов. Теперь уже не два имени: В.Ватагин и И.Ефимов, как было на заре прошлого столетия, а новое поколение талантливых мастеров.

Идея создания галереи была предложена Татьяной Николаевной Казанцевой, заведующей отделом изобразительных материалов. Над созданием экспозиции работали сами художники — участники ежегодных выставок анималистов. Цель такой экспозиции — воспитание нрав-

ственного отношения к природе средствами искусства, путем воздействия на эмоциональную сферу человека. Ведь силу такого воздействия трудно переоценить, говоря словами В.М.Гаршина, часто один мощный художественный образ влагает в нашу душу больше, чем добыто многими годами жизни. Устройство галереи преследовало ту же цель — проникнуться красотой, а через нее незыблемой нитью коснуться тайников человеческой души. Новые имена, разнообразные манеры и творческие методы прекрасно сочетаются. Безусловно, такой подход способствует созданию целостной картины природного мира. ■

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

Л.М.ФЕДОРОВА

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 14.06.2002
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 6291
Набрано и сверстано в редакции

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