

ПРИРОДА

7 12



В НОМЕРЕ:**3 Талалай П.Г.****Вскрытие озера Восток:
шаг вперед — два шага назад?**

5 февраля 2012 г. на российской антарктической станции Восток состоялось вскрытие подледникового озера — уникального водоема, находящегося под многокилометровой толщей льда и изолированного от атмосферы на протяжении нескольких миллионов лет.

14 Балагуров А.М.**Нейтронграфия:
задачи и способы решения**

За 100 лет, прошедших с открытия дифракции рентгеновских лучей на кристаллах, дифракционный анализ атомной структуры превратился в мощный экспериментальный метод. Причем роль зондирующего излучения могут играть не только фотоны, но и нейтроны.

26 Николаева С.Б.**Тропю лешего**

Узкое, с отвесными скальными обрывами, ущелье в озерном районе на почти равнинной местности в центре Кольского п-ова — следствие древнего землетрясения?

33 Попинако А.В., Соколова О.С.**Как предсказать неизвестную
структуру белка**

Сегодня, после расшифровки генома, основной задачей исследователей стало изучение совокупности всех белков организма. Для получения полной структурной информации о неизвестном белке приходится решать уравнения с двумя, а порой и с тремя неизвестными.

39 Войтеховский Ю.Л.**Лорд Кельвин, пивная пена,
«ячейки Коксетера»
и лавинная опасность**

Расшифровка структуры пивной пены и ее математическое решение нашли приложение в естественных науках — при описании структур перекристаллизации в металлах и сплавах, горных породах и льде.

43 Грищенко В.Н.,**Яблоновская-Грищенко Е.Д.****Орлан-белохвост регулирует
численность чайки-хохотуньи**

Когда искусственно регулировать численность таких «проблемных» птиц, как чайки, не удается, природа сама «наводит порядок в доме». Интересный пример — сокращение одной из крупнейших колоний чайки-хохотуньи на среднем Днепре, вызванное появлением пары орланов-белохвостов.

**50 Володин И.А., Ильченко О.Г.,
Володина Е.В., Зайцева А.С.,
Чеботарева А.Л.****Землеройка-барabanщик**

Землеройки-красавки очень говорливы — они издают разнообразные звуки, хорошо различимые на человеческий слух. Предполагалось, что эти крошечные животные способны и к ультразвуковой эхолокации. Экспериментальная проверка этой гипотезы привела к неожиданным результатам.

57 Князев Ю.П.**Уникальные палеонтологические
территории и объекты**

Дана краткая характеристика ключевых палеонтологических территорий Земли, имеющих большое значение для познания эволюции органического мира. Проанализированы резерваты, входящие в геологическое наследие и в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Научные сообщения**64 БУДУЩЕ РОССИИ — В СОГЛАСИИ
ПО ВРЕМЕНИ С ПРИРОДОЙ!****Ковальзон В.М., Дорохов В.Б.****По поводу нового
исчисления времени (65)****Заметки и наблюдения****68 Захаров И.А.****Лошади Чингисхана****72 Голиков Ю.П., Дыбовский А.П.****Маркел Вильгельмович Ненцкий****80 Фридкин В.М.****К юбилею учителя**

125 лет со дня рождения А.В.Шубникова

Рецензии**86 Чудов С.В.****Неведомое царство паразитов**

(на кн.: К.Циммер. Паразиты: тайный мир)

91**Новые книги****В конце номера****93 Майзингер Р.****Экзотика кораллового рифа
на банкнотах**

CONTENTS:

3 **Talalay P.G.** **Opening of Vostok Lake: One Step Forward, Two Steps Backward**

February 5, 2012 at Russian antarctic station «Vostok» the opening of subglacial lake was performed. This unique water basin rests under many kilometers thick ice sheet and has been isolated from atmosphere for several million years.

14 **Balagurov A.M.** **Neutronography: Problems and Solutions**

A century after discovery of X-rays diffraction in crystals, diffraction analysis of atomic structure has evolved into powerful experimental method. Notably, the role of the probe radiation can be performed not only by photons but also by neutrons.

26 **Nikolaeva S.B.** **The Path of Wood Goblin**

Did a narrow, bounded by steep rocky cliffs canyon at a lake district situated on almost plain landscape in the midst of Kola peninsula arose as a consequence of an ancient earthquake?

33 **Popinako A.V., Sokolova O.S.** **How to Predict an Unknown Protein Structure?**

Now, after genome sequencing, the main task of researchers became the study of all proteins of an organism. To obtain a complete structural information about an unknown protein they have to solve equations with two and sometimes three unknowns.

39 **Vojtekhevsky Yu.L.** **Lord Kelvin, Beer Foam, Coxeter Cells and Avalanche Danger**

Decoding of beer foam structure and its mathematical solution found applications in natural sciences, including description of recrystallization structures in metals and alloys, rocks and ice.

43 **Grishchenko V.N., Yablonovskaya-Grishchenko E.D.** **Sea Eagle Regulates the Number of Yellow-legged Gull**

When artificial population control of such «problematic» birds as sea gulls fails, nature itself «clears the house». An interesting example is the decline of one of the biggest colonies of yellow-legged gull in the middle reaches of Dnepr caused by arrival of a single pair of sea eagles.

50 **Volodin I.A., Ilchenko O.G., Volodina E.V., Zaitseva A.S., Chebotareva A.L.**

Piebald Shrew

Piebald Shrews are very vocal. They emit a variety of sounds well distinguishable by humans. It was supposed that these tiny animals are capable of ultrasound echolocation. An experimental verification of this hypothesis led to unexpected results.

57 **Knyazev Yu.P.** **Unique Paleontological Territories and Objects**

A brief description of the key paleontological territories of the Earth important for study of biologic evolution is given. The reserves included in geological heritage and in UNESKO List of the World Heritage are analysed.

Scientific Communications

64 **FUTURE OF RUSSIA IN AGREEMENT OF CALCULUS OF TIME WITH NATURE**

Kovalzon V.M., Dorokhov V.B.

On New Calculus of Time (65)

Notes and Observations

68 **Zakharov I.A.** **Horses of Genghis Khan**

72 **Golikov Yu.P., Dybovsky A.P.** **Markel Vilgelmovich Nentzky**

80 **Fridkin V.M.** **To Teacher's Anniversary** 125th Anniversary of A.V.Shubnikov

Book Reviews

86 **Chudov S.V.** **Unknown Kingdom of Parasites** (on book: C.Zimmer. Parasite Rex)

91 **New Books**

End of the Issue

93 **Maizinger R.** **Exotics of Coralreef on Banknotes**

Вскрытие озера Восток: шаг вперед — два шага назад?

П.Г.Талалай

Открытие вблизи российской антарктической станции Восток гигантского водоема, находящегося под многокилометровой толщей льда и изолированного от атмосферы на протяжении нескольких миллионов лет, многие называют крупнейшим географическим открытием XX в. Как образовалось это подледное озеро — достоверно не известно, но скорее всего оно существовало в рифтовой депрессии задолго до начала оледенения Антарктиды.

Полное отсутствие света, высокое давление, специфический газовый и химический состав воды, продолжительная изолированность — все это предполагает высокую вероятность сохранения в оз.Восток реликтовых форм жизни. Кроме того, здесь возможно развитие иных путей эволюционной адаптации организмов, еще не исследованных и существенно отличающихся от известных современной науке.

Немного предыстории

Изучение подледникового озера Восток стало одним из наиболее приоритетных направлений исследований международного научного сообщества за последнее десятилетие. А в январе 2012 г. журнал «Nature» опубликовал список самых значимых



Павел Григорьевич Талалай, доктор технических наук, неоднократный участник полярных экспедиций в Антарктиду, Гренландию и Российскую Арктику. Область научных интересов — разработка технологии и техники глубокого бурения скважин во льду. В настоящее время директор Полярного научно-исследовательского центра Цзилинского университета (Чанчунь, Китай). Постоянный автор «Природы».

научных событий предстоящего года. В одном ряду с запуском нового марсохода и строительством гигантского радиотелескопа стояло планируемое вскрытие оз.Восток.

В последние годы опубликована целая серия статей и монографий, посвященных происхождению озера, очертанию его берегов, рельефу дна, вероятному химическому составу воды и таксоно-морфологическим особенностям его предполагаемых живых обитателей [1—3 и др.]. Однако все умозаключения авторов построены на дистанционных методах исследований или на результатах анализа керна, полученного из глубокой скважины 5Г-1 и ее ответвления 5Г-2.

Достоверно установлено, что слой льда над озером мощностью примерно 230 м имеет химический состав и структуру, сильно отличающиеся от вышележащего, так называемого рекристаллизационного льда, который формируется путем уплотнения и перекристаллизации снега и фирна. Нижний, примыкающий к воде, слой ледника состоит из конжеляционного льда, образованного при замерзании воды. Как считает большинство ученых, этот слой сформировался за счет намораживания воды к подошве ледникового покрова и, следовательно, может быть изучен как образец подледниковой воды [4]. С другой стороны, имеется достаточно обоснованное мнение, что этот лед представляет собой остатки реликтового льда, перекрывшего озеро еще до формирования антарктического ледникового покрова.

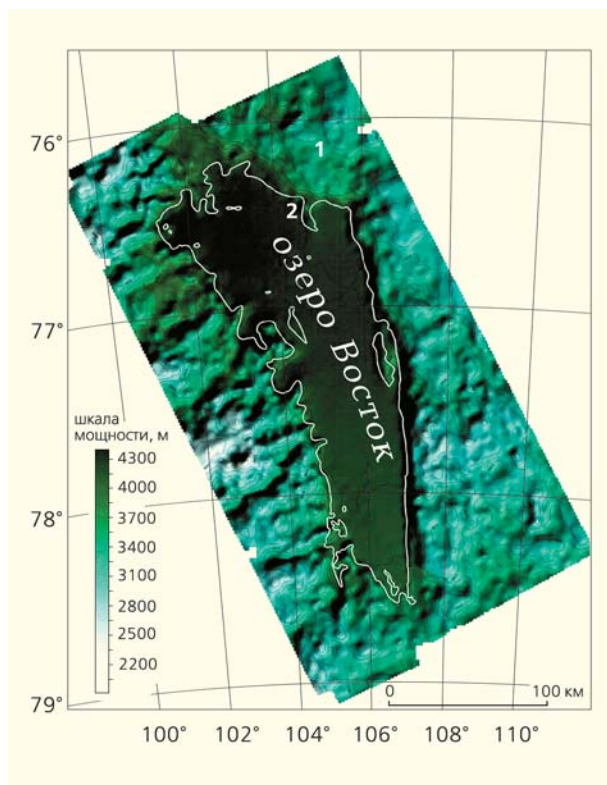
Таким образом, единственный способ разгадать загадку происхождения и однозначно определить биологическую картину уникального озера Восток — это непосредственное проникновение



Станция Восток. Большая часть зданий находится под снегом.

Фото Г.П.Талалая

в озеро и отбор проб воды. Вполне разумно для этого использовать глубокую скважину 5Г, заложенную на станции Восток в феврале 1990 г., за шесть лет до появления первой печатной работы, в которой было доказано существование оз.Восток [5].



Мощность ледникового покрова в районе подледникового озера Восток: 1 — изопахиты ледникового покрова (сечение изолиний 150 м); 2 — береговая линия оз.Восток [2].

Очевидно, что проникновение в озеро может состояться только с использованием экологически чистой технологии бурения, исключающей попадание в водоем современной микрофлоры и обеспечивающей сохранение жизнеспособности реликтовых организмов. Поэтому основной проблемой вскрытия озера через скважину 5Г стали экологические свойства промывочной жидкости, которая при бурении заполняет ствол глубокой скважины [6].

В качестве промывочной жидкости на станции Восток использовалась смесь авиационных топлив различных марок (ТС-1, Jet A-1, JP-8) с утяжелителем — фреоном типа HCFC 141b. Авиационные топлива относятся к классу керосинов, которые в токсикологии оцениваются как особо опасные вещества. В их состав входит 20—22% ароматических углеводородов — наиболее токсичных и быстродействующих органических соединений. Даже при малых концентрациях (более 1 мг/м³) они оказывают отравляющее действие на низшие формы жизни в водоемах и водостоках [7].

В 1998 г. из-за опасности нарушения экологических условий уникальной реликтовой системы озера по инициативе Международного научного комитета по антарктическим исследованиям SCAR (Scientific Council for Antarctic Research) бурение скважины 5Г-1 было остановлено на глубине 3623 м, приблизительно в 150 м от поверхности подледникового озера [8].

В 2002 г. непосредственно из скважины с глубин от 110 до 3600 м были отобраны 10 образцов промывочной жидкости. Их молекулярно-биологическое исследование показало, что на всех горизонтах присутствуют бактерии различного происхождения — как довольно распространенные сфингомонады, так и патогены человека и животных [9]. Следовательно, при контакте

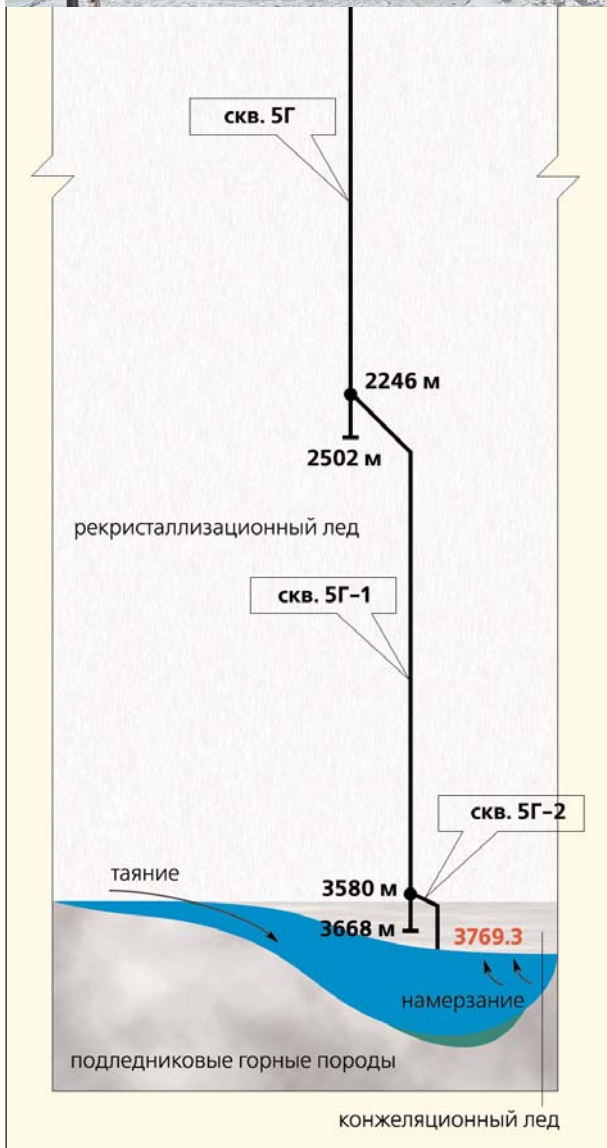


Схема самой глубокой скважины, пробуренной во льду — скважины 5Г (5Г-1, 5Г-2) на станции Восток.



Так начиналось бурение глубокой скважины 5Г (февраль 1990 г.): слева автор статьи, справа — руководитель заключительного этапа бурения Н.И.Васильев.

Фото автора

с озерной водой эта промывочная жидкость могла не только оказать подавляющее действие на жизнеспособность микроорганизмов, находящихся в оз.Восток, но и вызвать попадание в водоем посторонней микрофлоры.

Проект экологически чистого вскрытия озера

Разработка экологически чистой технологии вскрытия и опробования подледникового озера была инициирована Министерством природных ресурсов и Росгидрометом РФ в январе 2000 г. В рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан» стартовал специальный междисциплинарный научный проект «Провести исследования подледникового озера Восток».

Для предотвращения попадания промывочной жидкости в подледниковое озеро было решено заполнить призабойную часть скважины экологически безопасной кремнийорганической

жидкостью из класса олигодиметилсилоксановых соединений (например, ПМС-1.5р или ПМС-2.0р), которая создаст буферный промежуточный слой мощностью около 100 м между традиционной промывочной жидкостью и забоем скважины [10, рис. на с.52]. Кремнийорганические жидкости — это гидрофобные, т.е. нерастворимые в воде соединения. Они безвредны для здоровья людей и животных, для них не установлены какие-либо нормативные предельно допустимые концентрации [11]. Перед доставкой кремнийорганической жидкости на забой скважины она должна быть подвергнута термической или лучевой стерилизации для полного исключения попадания в подледниковый водоем посторонних микроорганизмов.

Бурение последних 30 м перед непосредственным выходом в озеро предполагалось провести специально разработанным термобуровым снарядом ТБПО-132 (без его подъема на поверхность), который будет создавать дополнительный буферный слой из талой воды под кремнийорганической жидкостью [12]. Как только пилот-скважина достигнет поверхности озера, специальная система датчиков подаст мгновенный сигнал на поверхность.

Плотность промывочной жидкости должна быть подобрана таким образом, чтобы гидростатическое давление в скважине оказалось меньше озерного на 0.3—0.4 МПа. В этом случае озерная вода поступит в скважину и поднимется по ней вверх на 30—40 м. Если же в расчетах произойдет ошибка и гидростатическое давление столба жидкости в скважине окажется больше давления воды в озере, то водоем все равно останется изолированным: при выходе пилот-скважины в озеро на буровой снаряд будет действовать усилие, прижимающее опорную термобуровую к забою. После этого часть промывочной жидкости откачают, снаряд поднимут на поверхность, и озерная вода поступит в скважину.

Таким образом, термобуровой снаряд будет выполнять функцию клапана, разобцая озеро и скважину в момент выхода пилот-скважины в подледниковый водоем. При любом развитии событий жидкость из скважины не должна попасть в озеро, наоборот — озерная вода должна подняться в скважину. При этом высота подъема воды легко регулируется откачкой или добавлением промывочной жидкости с поверхности.

После поступления озерной воды в скважину все работы предполагалось прекратить до ее замерзания. Далее был запланирован заключительный этап — повторное выбуривание и извлечение на поверхность замерзшей озерной воды колонковым электромеханическим снарядом. На расстоянии 10—15 м от поверхности озера бурение должно быть остановлено, чтобы оставшаяся перемычка обеспечила полную изоляцию ствола скважины от подледникового водоема.

Эта технология бурения получила положительное заключение Государственной экологической экспертизы (Министерство природных ресурсов РФ, приказ №257 от 26.03.2001) и одобрение международного сообщества.

КСДА и КООС

Любой научный проект, который планируется осуществить в Антарктиде, должен пройти проверку экспертным консультативным органом — Комитетом по охране окружающей среды (КООС), который разрабатывает рекомендации для Консультативного совещания по договору об Антарктике (КСДА). Заседания КООС проводятся ежегодно одновременно с КСДА, на них даются конкретные рекомендации для совершенствования методик научных исследований.

В июле 2001 г. разработанная экологически чистая технология отбора проб воды из оз. Восток была впервые представлена международному антарктическому сообществу на XXIV заседании КСДА в Санкт-Петербурге. На следующий год, на XXV заседании КСДА в Варшаве, делегация России вновь выступила с проектом Всесторонней оценки влияния на окружающую среду (ВООС) «Отбор проб воды подледникового озера Восток». Еще через год, в июне 2003 г., проект ВООС, пересмотренный с учетом замечаний и предложений, снова был представлен на XXVI заседании КСДА, проходившем в Мадриде. Но в заключительном отчете заседания было отмечено, что отдельные части проекта все же не соответствуют требованиям Протокола по защите окружающей среды¹, а именно:

- 1) в проекте ВООС недостаточное внимание уделяется уменьшению потенциальной опасности для окружающей среды в результате вскрытия озера;
- 2) предоставленная информация о специальной промывочной жидкости недостаточна для вывода о том, что она экологически безопасна;
- 3) рассмотрение альтернатив предлагаемой деятельности недостаточно и должно включать другие решения;
- 4) в проекте ВООС неадекватно определяются и обсуждаются пробелы в знаниях об условиях на границе лед—вода и о химическом составе озера;
- 5) недостаточно полно рассмотрена опасность случайного разлива промывочной жидкости и потенциальные последствия такого разлива;
- 6) в проекте должны быть подготовлены различные варианты плана действий в чрезвычайных ситуациях для незамедлительного и эффективного реагирования на непредвиденное воздействие в случае, если деятельность будет развиваться не так, как предполагалось.

¹ http://www.aari.nw.ru/docs/press_release/2011/20110114_vostok.pdf

Было вполне очевидно, что наряду с реальной обеспокоенностью возможностью загрязнения оз. Восток существовала и геополитическая борьба за первенство в области изучения подледниковых экосистем. Далее стадия легализации российского проекта проходила в лучших традициях дипломатической работы, когда по существу в проект не вносилось никаких технических изменений, но он обрстал новыми подтверждениями экологической чистоты.

Окончательные ответы российской стороны на замечания международного научного сообщества были обобщены спустя семь лет в Рабочем документе №59 «Ответы на замечания по ВООС «Отбор проб воды подледникового озера Восток», который был представлен делегацией России на XXXIII сессии КСДА в Пунта-дель-Эсте (Уругвай) в мае 2010 г. Ниже приводим его содержание с небольшими сокращениями.

1. Буровые работы, выполняемые специалистами из Дании (север Гренландии) и Германии (Земля Королевы Мод в Восточной Антарктиде) с использованием аналогичной по составу промывочной жидкости (смесь керосина и фреона) продемонстрировали возможность ее случайного контакта с подледниковыми водными массами. В результате верхний уровень промывочной жидкости в скважине поднимался на высоту существовавшей некомпенсации давления этой жидкости полному давлению толщи льда над водой. В связи с этим риски потенциальной опасности загрязнения реликтовых вод озера Восток в предлагаемой российской методике сведены к минимуму.

2. Технология проникновения в подледниковое озеро предусматривает внедрение перед непосредственным контактом с водой в нижнюю часть скважины кремнийорганической жидкости. Свойства этой жидкости были подробно изучены и представлены в Санкт-Петербургском горном университете (СПГУ) доктором П.Талааем в докладе «Характеристики поведения в окружающей среде и токсикологические свойства диметилсилоксановых масел». Эти данные неоднократно представлялись на различных международных конференциях, посвященных бурению льда. Кремнийорганические жидкости — это гидрофобные и инертные субстанции, устойчивые к воде, воздуху, кислороду, металлам, дереву, бумаге, пластикам. Не существует времен-



Б.Б.Кудряшов (1931—2002), один из создателей отечественной школы горной теплофизики. Многие годы он возглавлял исследования в области глубокого бурения на станции Восток. В память о его заслугах ректор СПГУ В.С.Литвиненко предложил назвать скважину 5Г «Скважина Кудряшова».

ных ограничений для работы с ними в связи с отсутствием доказательств их вредного влияния на человеческий организм. Микробиологическое исследование кремнийорганических жидкостей показало, что бактерии, обитающие в них, не обнаружены в ледяных кернгах Антарктики.

3. В качестве альтернативного решения можно рассматривать технологию быстрого бурения льда FASTDRILL (США). Однако эта технология не может быть применима в условиях станции Восток, так как организация постоянной циркуляции горячей воды (около +90°C) в ледяной скважине возможна лишь при температуре поверхности льда не ниже -35°C. На станции Восток среднегодовая температура составляет -55°C. Для бурения льда при такой его температуре с помощью горячей воды потребуются электростанция мощностью в несколько мегаватт.

4. Отмеченные в 2003 г. пробелы в знаниях об условиях на границе лед—вода и химическом и микробиологическом составе поверхностных вод оз. Восток за прошедшие семь лет практически устранены. Но окончательные ответы будут получены только после осуществления проникновения. Однако уже сейчас очевидно, что лед, образованный из озерной воды, непосредственно контактирует с ее поверхностным слоем. Микробиологические анализы образцов льда из нижней части скважины 5Г-1 показали, что концентрация живых клеток в них предельно мала (до 10 клеток в 1 мл). Это свидетельствует о чрезвычайно низкой биологической активности в поверхностных водах оз. Восток.

5. Данные о структуре льда в интервале 3623—3668 м свидетельствуют о полном отсутствии каких-либо капиллярных каналов в нижних слоях льда, через которые заливочная жидкость могла бы распространиться в нижнем направлении. Этот факт делает несостоятельным предположение о случайном попадании керосиново-фреоновой смеси на поверхность воды озера. Площадь контакта смеси с водой будет ограничена диаметром ледяной скважины (132—137 мм). Промывочная жидкость не смешивается с водой, она гидрофобна, а будучи более легкой, чем вода, она будет всегда находиться на ее поверхности.

6. К непредвиденным обстоятельствам при осуществлении проекта вскрытия озера через ледяную скважину 5Г-2 можно отнести случайное

проникновение в озеро, если толщина ледника окажется менее 3750 м (эта толщина была измерена с помощью радиолокационного и сейсмического методов). В этом случае вода из озера поднимется по скважине вверх на высоту некомпенсации давления столба заливочной жидкости. Других чрезвычайных обстоятельств при выполнении этого проекта типа разлива керосиново-фреоновой смеси, технических ошибок при бурении ледника и т.п. не предвидится.

Таким образом, Россия представила достаточно подробные ответы на все замечания международного антарктического сообщества по проекту проникновения в водный слой подледникового озера Восток. В сезоне 2005/2006 гг. буровые операции были возобновлены, и в последнем антарктическом сезоне 2011/2012 гг. Российская антарктическая экспедиция (РАЭ) приступила к заключительной фазе реализации проекта.

Вскрытие озера: почти детективная история

Все начиналось как обычно. Буровой отряд во главе с заведующим кафедрой бурения скважин СПбГУ Н.И.Васильевым прибыл на станцию Восток 28 ноября 2011 г. Более месяца ушло на различные подготовительные работы: был расконсервирован буровой комплекс, налажен буровой снаряд, проведены геофизические измерения в скважине. Скважинная геофизика на данном этапе особенно важна, поскольку измерения диаметра скважины позволили оценить участки сужения ствола, опасные с точки зрения затяжек бурового снаряда и подлежащие предварительному расширению. Кроме того, определение гидростатического давления дало предварительные представления о значении дифференциального давления на забое скважины и о необходимости регулирования плотности промывочной жидкости¹.

После разбуривания ствола скважины и добавления утяжелителя буровые работы на станции Восток возобновились, как и планировалось, 2 января 2012 г. Среднесуточная скорость проходки бурового снаряда составила 1.75 м/сут, и уже 12 января глубина скважины достигла 3737.5 м.

Но 13 января на сайте Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) появляется пресс-релиз «На пути к озеру Восток», в котором сообщается об остановке бурения: *В конце суток 12 января буровые операции были приостановлены для проведения необходимых технологических процедур. К ним относятся: измерение температуры и давления в нижней части глубокой скважины, измерение диаметра вновь пробуренного участка скважины по верти-*

*кали, отбор проб заливочной жидкости для определения ее плотности, доставка на необходимые горизонты компонентов заливочной жидкости — керосина и фреона, профилактика бурового оборудования. После завершения этих работ буровые операции будут возобновлены*².

И после этого, в период между 13 января и 8 февраля, не было никакой официальной информации о бурении на Востоке!

Впрочем, 18 января был опубликован пресс-релиз «Визит международной делегации на ст.Восток (Антарктида)», в котором, в частности, говорилось: *18 января станцию Восток по согласованию с Росгидрометом и РАЭ посетила группа иностранных гостей, прилетевшая с франко-итальянской станции Конкордия... Во время посещения гостями буровой на ней выполнялся технологический рейс по расширению сверхглубокой скважины 5Г-2. Гости были свидетелями подъема снаряда с конусной буровой коронкой, предназначенной для разбуривания скважины*³. Хотя эта информация и не имела отношения к бурению, но из нее можно было сделать вывод, что выполняется технологический рейс и, в общем, все идет по плану!

В конце января информационную блокаду станции Восток ужесточили, были прекращены все частные переписки. 1 февраля на сайте «Washington Post» со ссылкой на профессора Университета штата Монтана (США) Д.Приску появляется информация, что бурение остановлено примерно в 40 футах над поверхностью озера. Приску предполагал получить информацию от своих друзей-ученых со станции Восток о том, что они начали спуск на забой скважины термобурового снаряда для финального проникновения, но вместо этого ему пришло короткое сообщение: «No news» («Новостей нет»)⁴.

Весть о том, что со станции Восток пришло столь лаконичное сообщение, моментально разлетелась по Интернету и трансформировалась на десятках зарубежных веб-сайтов в почти криминальные фантазии на тему «Исчезла экспедиция российских ученых в Антарктиде»⁵. Российским официальным лицам пришлось принимать меры, и на нескольких сайтах были опубликованы опровержения. Так, на сайте РИА Новости появилась следующая информация⁶: *Представитель Института Арктики и Антарктики Росгидромета (ААНИИ) опроверг информацию о пропаже российской экспедиции по бурению подледного озера*

² http://www.aari.nw.ru/docs/press_release/2012/Восток_13_01_2012.pdf

³ <http://www.aari.nw.ru/news/text/2012/visit-1.pdf>

⁴ http://www.washingtonpost.com/national/health-science/scientists-close-to-entering-vostok-antarctic-biggest-subglacial-lake/2012/01/27/gIQAbGX0fQ_story.html

⁵ <http://www.foxnews.com/scitech/2012/02/02/russian-scientists-lost-in-frozen-land-lost/>

⁶ <http://eco.ria.ru/danger/20120203/55552368.html>

Восток в Антарктиде, обнародованную некоторыми СМИ со ссылкой на американских ученых... «Российская экспедиция ежедневно, несколько раз в сутки передает метеорологические данные сотрудникам... Ни о каких экстраординарных случаях нам неизвестно, таких звонков не поступало», — сказал «РИА Новости» начальник пресс-службы ААНИИ Сергей Лесенков.

3 февраля, т.е. за 2—3 дня окончания сезонных работ, на том же сайте РИА Новости, со ссылкой на пресс-службу ААНИИ, вдруг появляется информация о том, что после перерыва на необходимые регламентные работы бурение на станции Восток возобновилось! Но если бурение возобновилось за несколько дней до окончания сезона, то за это короткое время буровикам предстояло преодолеть около 30 метров. Ранее же сообщалось о средней скорости проходки бурового снаряда 1.75 м/сутки, и получается, что в более сложных условиях проходка должна была быть в разы больше, чтобы к концу сезона достичь озера.

6 февраля на сайте агентства РИА Новости появилась весть о вскрытии озера: *Российские ученые после более 30 лет бурения проникли в подледниковое озеро Восток в Антарктиде*, — сообщил в понедельник «РИА Новости» источник в научных кругах. — *Вчера на станции Восток в Антарктиде наши ученые на глубине 3768 м завершили бурение и достигли поверхности подледникового озера*, — сказал собеседник агентства².

Эта новость моментально распространилась по веб-сайтам многих как российских, так и зарубежных информационных агентств. Но в то же время почти незаметно на сайте «Русской службы новостей» появилось опровержение факта вскрытия озера: *Российские полярники пока не добрались до воды озера Восток. Как сообщили в Арктическом и Антарктическом НИИ Росгидромета, распространенные ранее сведения о «покорении» уникального водоема не соответствуют действительности. До поверхности остается несколько метров*³.

И только 8 февраля под заголовком «Форточка» в неведомый мир подледникового озера Восток открыта» появилось долгожданное официальное сообщение: *5 февраля в 20.25 по московскому времени на российской внутриконтинентальной антарктической станции Восток было совершено проникновение в реликтовые воды подледникового озера Восток через глубокую ледяную скважину 5Г⁴*.

Если Вы посмотрите сайты зарубежных полярных экспедиций, то сможете в ежедневном или еженедельном режиме следить за всеми подроб-



5 февраля 2012 г. в 20:25 по московскому времени вода подледникового озера Восток начала быстро поступать в скважину. Через 4 с после срабатывания датчиков лебедка заработала на подъем, и спустя 2.5 ч на поверхность был извлечен буровой снаряд, к которому «приклеилась» реликтовая вода оз.Восток.

Фото Н.И.Васильева

ностями работы ученых. Российский же проект, имеющий общемировое значение, в течение 25 дней находился в условиях информационной блокады! Да и факты, относящиеся к процессу бурения и непосредственному вскрытию озера, часто и очевидно противоречат друг другу. А, как известно, если есть доля неправды в малом, то уже сомневаешься в большем...

Наука или политика

В нашей стране научные результаты испокон веков были политическим оружием. Недаром в связи со вскрытием оз.Восток ученые и журналисты вспоминали лунную гонку конца 60-х годов XX в. Тогда выиграла американцы, и Советский Союз свернул программу пилотируемых запусков на Луну. Совсем недавно российская космонавтика опять потерпела неудачу, на этот раз при запуске аппарата «Фобос-Грунт». И вот теперь — достижение, которого так долго ждали не только ученые, но и политики!

Так, за несколько часов до этого выдающегося события (вскрытия озера. — П.Т.) станцию Восток впервые посетили министр природных ресурсов и экологии Российской Федерации Ю.П.Трутнев и руководитель Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды А.В.Фролов⁵, однако они покинули станцию еще до проникновения в озеро. А 10 февраля Трутнев передал премьер-министру РФ В.В.Путину первую пробу доисторической воды

¹ <http://eco.ria.ru/nature/20120203/555642585.html>

² <http://eco.ria.ru/discovery/20120206/558471210.html>

³ <http://rusnovosti.ru/news/186186/>

⁴ http://www.aari.nw.ru/docs/press_release/2012/Озеро_Восток_080212.pdf

⁵ http://www.aari.nw.ru/docs/press_release/2012/Озеро_Восток_080212.pdf



Ю.П. Трутнев передает В.В. Путину колбу с пробой из водяной линзы со словами, что это проба добыта из оз. Восток (<http://www.1tv.ru/news/social/198799>).

из подледного озера Восток в Антарктиде¹. Колбу с металлической крышкой и ручкой и желтоватой жидкостью он привез в небольшом металлическом чемоданчике. На крышке колбы было написано: «Озеро Восток, возраст более миллиона лет, глубина 3769.3 метра, дата 5.12.11, Антарктида». Очевидно, что дата на колбе указана ошибочно. Неясно другое: откуда у министра оказалась вода из озера, если он вместе со своими спутниками улетел с Востока за несколько часов до его вскрытия?

13 февраля начальник РАЭ В.В. Лукин прокомментировал это событие так: *Тот маленький объем воды, переданный ему, — это сувенир. Это символический жест. 4 февраля буровой снаряд соприкоснулся с водной линзой на глубине 3766 м, в буровой комплекс было поднято около 30–40 л воды, которая замерзла в процессе подъема, она была собрана в специальную стерильную лабораторную посуду. Эта вода и была передана Трутневу на станции Восток за несколько часов до момента проникновения*². А Фролов, сопровождавший Трутнева в поездке на станцию Восток, счел нужным еще раз подтвердить, что проникновение в подледниковое озеро действительно состоялось, произошло оно на отметке 3769.3 м и что пробы воды — подлинные³.

Согласитесь, что все-таки стоит отделять науку от политики...

А где же наука?

Главный вопрос, не дающий мне до сих пор покоя: почему оз. Восток вскрывали электромеханическим снарядом с жидкостью, состоящей из керосина и фреона, вместо заявленного проектом термобурового снаряда ТБПО-132 с кремнийорганической жидкостью? Ведь именно на эту технологию, а не на реализованную, было получено положительное заключение Государственной экологической экспертизы и именно эта технология представлялась на международных совещаниях КСДА!

То, что вскрывать озеро будут через скважину, заполненную керосиново-френовой смесью, и обычным электромеханическим снарядом, было заявлено 15 декабря 2011 г. в программной статье Лукина «У порога неизведанного»⁴. Эта статья, по сути, поставила крест на десятилетних усилиях российских ученых и экологов по разработке экологически чистой технологии проникновения в оз. Восток.

Тем не менее уже после вскрытия озера на вопрос, почему не использовалась утвержденная и одобренная технология экологически чистого отбора проб, Лукин отвечает так: *У нас не было времени на использование кремнийорганической заливочной жидкости и для перехода от электромеханического способа бурения к тепловому. Это слишком длительный процесс, а все члены бурового отряда должны были улететь со станции Восток не позднее 6 февраля*⁵.

Как же так? За полтора месяца до вскрытия он пишет, что кремнийорганическая жидкость не будет использована, потому что в ней нет необходимости, а после вскрытия обосновывает это тем, что просто не было времени! А ведь требуемая жидкость даже не была завезена на Восток (точнее, на Восток несколько лет назад была привезена одна бочка с кремнийорганической жидкостью для экспериментов, но не того сорта — она замерзла даже при небольшой отрицательной температуре), а изготовление теплового снаряда, предназначенного для проникновения, не пошло дальше лабораторного прототипа!

Спрашивается, как теперь отчитываться перед мировым научным сообществом? Ведь даже Лукин заранее заявляет, что теперь международное сообщество не примет метод, с помощью которого бурилась скважина, а как следствие, — и результаты исследований⁶. И добавляет: *да, будут такие люди, которые будут критиковать, которые будут возмущаться. Но есть хорошая восточная поговорка: «собака лает, караван идет».*

Но вернемся к науке. В момент вскрытия озера неожиданно произошло **водопроявление** (имен-

¹ <http://www.1tv.ru/news/social/198799>

² http://www.vedomosti.ru/politics/news/1502006/presssluzhba_putina_vydala_suvener_polyarnikov_za

³ <http://www.vesti.ru/doc.html?id=713901>

⁴ http://www.aari.nw.ru/news/text/2011/Lukin_Vostok.pdf

⁵ http://rus.ruvr.ru/2012_02_22/66644190/

⁶ <http://www.interfax-russia.ru/NorthWest/exclusives.asp?id=293034&sec=1680>

но так согласно принятой терминологии в бурении называют самопроизвольный излив промывочной жидкости или пластового флюида через устье скважины), что не было предусмотрено разработанной технологией. Напомню, что авторами предполагалось создание в скважине отрицательного дифференциального давления примерно 0.3–0.4 МПа, что привело бы к подъему озерной воды примерно на 30–40 м. При этом уровень промывочной жидкости в скважине должен был плавно повыситься с 60 до 20–30 м. В реальности произошло вот что: *Менее плотная, чем озерная вода, буровая жидкость, состоящая из смеси керосина и фреона, стала быстро подниматься по стволу скважины. В результате около полутора кубометров этой жидкости вылилось через верхнюю поверхность скважины в специальные поддоны, установленные в буровом комплексе, и затем было откачено в бочки*¹.

Вот тот момент, о котором предупреждал КСДА на заседании в Мадриде: у буровиков должны быть подготовлены планы действий на случай чрезвычайной ситуации! А планов действия, направленных на ликвидацию разлива, не было.

Когда в скважине происходит водопроявление — это ЧП. Каждый подсознательно думает о своей личной безопасности. Для остановки разлива в нефтяных скважинах используются специальные устройства — превенторы. Этих устройств на станции не было, и излив закончился по естественным причинам — из-за того, что озерное давление уравновесилось гидростатическим давлением столба промывочной жидкости. Но если из скважины вылилось, как утверждается, полтора кубометра промывочной жидкости, то озерная вода должна была подняться на высоту 200–220, а не 30–40 м, как предполагалось!

Чтобы снова добраться до озера, потребуется еще как минимум три-четыре года, ведь проходка на этих глубинах мала — всего 50–70 м за один антарктический сезон. Соответственно, план непосредственного отбора проб подледниковой воды отодвигается на несколько лет. Водопроявление скважины также указывает на то, что оценка дифференциального давления была произведена неверно, и говорить о том, что *теоретически предсказанные 11 лет назад результаты были полностью доказаны на практике*², наверное, несколько преждевременно. В дальнейшую работу должны вноситься существенные коррективы, учитывающие аномально высокое давление в озере.

Далее. При повторном выбуривании замерзшей озерной воды, которое планируется провести в следующем сезоне, скважина 5Г-2, имеющая отклонение от вертикали около 6°, очень быстро отойдет от своего первоначального направления.

По такому сценарию развивались события в июле 2003 г. в скважине NGRIP (North Greenland Ice core Project), пробуренной в северной части Гренландии. Подледниковые воды в ней были вскрыты на глубине 3085 м. Вода вытеснила промывочную жидкость, заполняющую скважину, и поднялась на высоту 43 м. Поскольку скважина также имела отклонение от вертикали, при повторном бурении новая ось скважины отошла от основной оси и доля чистого льда в керне неуклонно увеличивалась с глубиной. Керн представлял собой «инь и янь» из бурых образцов подледниковой воды и светлых — ледникового льда [13, рис. на с.36].

Именно так скорее всего произойдет и в скважине на станции Восток: замерзшую воду удастся выбурить только в верхних 10–15 м. Но верхняя часть поднявшейся в скважину воды не представляет для науки никакого практического интереса, так как она перемешана с керосиново-фреоновой смесью! Это доказано исследованиями замерзшей воды, поднятой из скважин NGRIP и на Земле Королевы Мод. Из-за контакта воды с промывочной жидкостью, составленной примерно из тех же компонентов, что и на Востоке, образцы оказались практически непригодными для микробиологических и геохимических исследований [14].

Для прояснения произошедшего на станции Восток события следует также обратить внимание на точное понимание термина «вскрытие подледникового озера». Существуют достаточно веские причины предполагать, что на самом деле от забоя скважины до поверхности озера остается еще несколько метров льда, а озерная вода поднялась в скважину по межзеренным трещинам, образованным и расклинившимся за счет большого перепада давлений в озере и в скважине. Это явление широко известно в геологии и горном деле и называется **гидроразрывом**. Именно так развивались события в Гренландии, где в 2004 г. подледниковая вода поднялась в скважину, когда до ложа оставалось еще около 6 м [13]. В Антарктиде, в глубокой скважине на станции Купол Fuji, в сезоне 2006/2007 гг. при подходе к ложу подледниковая вода стала «просачиваться» в скважину и намерзать на буровой снаряд на глубине 3031 м [15]. После этого пробурить удалось всего 4 м, и бурение пришлось остановить в нескольких метрах до ложа. Так можно ли появление озерной воды в скважине на станции Восток уверенно называть вскрытием, если **непосредственного проникновения** в озеро могло и не быть?

Достижение подледникового водоема на станции Восток — далеко не первый опыт подобного рода в Антарктиде. Впервые подледниковая вода была достигнута в далеком январе 1968 г. на станции Берд [16]. На глубине 2164 м при выходе скважины из ледника был обнаружен слой воды. При выравнивании давлений подледниковая вода

¹ http://www.aari.nw.ru/docs/press_release/2012/Озеро_Восток_080212.pdf

² Там же.



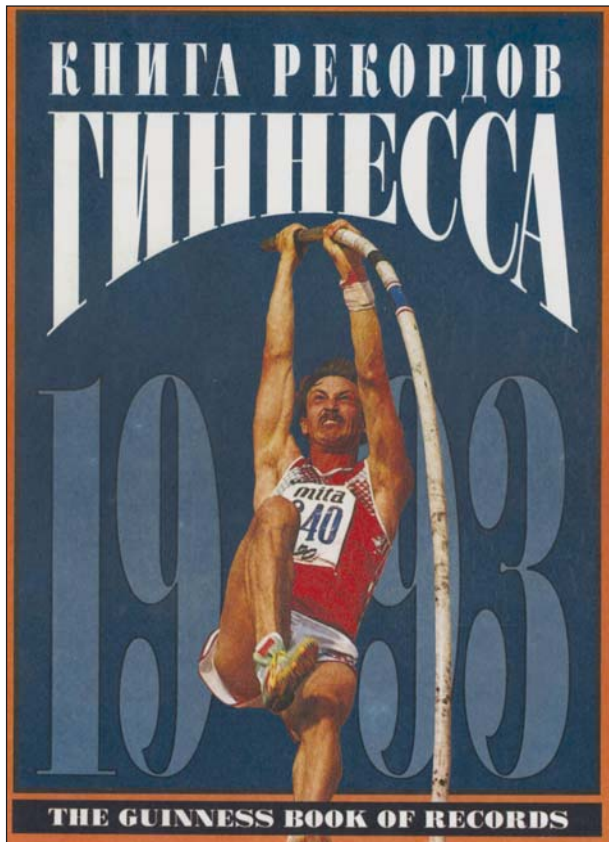
«Ледяная борода» — первый образец подледниковой воды, полученный в Антарктиде (январь 2006 г.) [10]. Он хранится в морозильной камере в Институте полярных и морских исследований им.А.Вегенера (Бремерхафен, Германия).

поднялась на высоту примерно 55 м и, смешавшись с промывочной жидкостью (водным раствором этиленгликоля), образовала в нижней части скважины ледяную шугу, труднопроходимую для бурового снаряда. В следующем сезоне скважина

была разбурена, но при попытке извлечения подледниковых горных пород снаряд оказался прихвачен в скважине. Бурение было остановлено.

Во второй раз подледниковые воды в Антарктиде были вскрыты на базе Конен (Земля Королевы Мод). В летний сезон 2005/2006 гг. при подходе к подледниковому ложу на глубине 2774 м в скважине появилась вода. С помощью специальной желонки для отбора проб на поверхность была поднята «ледяная борода» — по всей видимости, первый образец антарктической подледниковой воды. Вода проникла в скважину, вытеснила промывочную жидкость и поднялась на высоту примерно 170 м.

Первый образец антарктической подледниковой воды хранится в морозильной камере в Институте полярных и морских исследований им.А.Вегенера. Так же, как и гренландская вода, она оказалась заражена промывочной жидкостью. Когда я спросил главного бурового специалиста этого проекта Фрэнка Вильхелмса, собираются ли они выбуривать замерзшую подледниковую воду, он ответил, что, по его мнению, это не имеет смысла, поскольку вода, контактирующая с керосином, не может дать никакой достоверной микробиологической информации.



Обложка книги Гиннеса (слева) за 1993 г. На 83 странице книги рядом с глубочайшей скважиной СГ-3 на Кольском полуострове отмечены два рекорда Горного института: самая глубокая скважина во льдах (скважина 4Г-2 глубиной 2546 м, 1989 г.) и самая глубокая «сухая» скважина во льдах (скважина 1 глубиной 952,5 м, 1972 г.).

ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ

Самый большой размер лопастей • Машина «Дайсондер» в Магдалас-Палладио, построенная в 1718 г., имеет размах лопастей в 29 м.


Самая высокая и самая высокая ветровая турбина • «Дж-Норд» в Скандия (Норвегия), высота 32,31 м.

Самые крупные • Самый большой в мире ветровой генератор — это турбина мощностью 3000 кВт и высотой 150 м. Построен компанией «Дреско» вилдентур-ланде в 1982 г. на Фарнландском побережье Западной Германии.

10 ноября 1987 г. вступил в строй опытный реактор «Тейлау Визар» в Беттар-Хелл, Великобритания, ветроэнергетическая установка мощностью 4,5 мВт. Его мощность — 3000 кВт, длина лопастей — 40 м, он пролетает 12 км в час в полете, что достаточно для обеспечения электроэнергией 2 тыс. домов.

20 марта 1984 г. началось сооружение гидроэлектростанции СЭС MOD-5A на северном побережье острова Огу, Ямайка. Стоимость установки — 14,2 млн долл., мощность — 730 кВт при скорости ветра 31,3 км/ч. Размер ротора — 122 м.

Продолжена работа • 12 ноября 1989 г. введены в эксплуатацию «Центральная» в Китае. Ветроэнергетическая установка мощностью 7 мВт. Эта установка в море устанавливается на якорях, которые работают на глубине морского дна.



Глубочайшая скважина в самой глубокой скважине в мире — это скважина СГ-3 на Кольском полуострове. Месторождение, бурение которой началось в 1967 г. в рамках государственной программы освоения Севера СССР. К 1 июля 1993 г. ее глубина составила 12 264 м, диаметр — 219 мм. Впервые показана, что по мере углубления скважины температура повышается в 10 раз, достигая 100°C на глубине 12 км, что свидетельствует о существовании горячих источников под землей. В скважине обнаружены газы, азот и фтористые соединения. Диаметр трубы скважины на глубине 12 км составляет 92 м, в сентябре 1981 г. в СГ-3 на скважине (большая глубина) в море 1970 м была обнаружена и вывезена с обсадной колонны диаметром 263 мм, 20 м от скважины специальный соединитель достиг рекордной глубины 10 м в 1972 г. В скважине обнаружены газы на глубине 12 км, что свидетельствует о существовании горячих источников под землей.

СКВАЖИНЫ И ШАХТЫ


В ФНТ 9 октября 1986 г. объявлено о начале работы скважины в Лубенской, Воронежская область. Ее диаметр — 14 см, стоимость проекта — 380 млн долл.

Позволило бурение • Реверсивное вращательное бурение в рамках Американского проекта глубоководного бурения установкой «Соник Чалленджер», которая в 1975 г. пробурила скважину глубиной 1740 м в северном полюсе Северного Ледовитого океана.

В мае 1978 г. на западном склоне Маринской анклавы на глубине 7034 м заложена глубоководная скважина для дальнейшего бурения.

Бурение льда • Самая глубокая скважина во льду была пробурена во время 30-й Советской антарктической экспедиции в 1983 г. на станции «Восток», Восточная Антарктида. Глубина скважины тогда составила 2546 м. Бурение началось в сентябре 1989 г., когда на глубине 2346 м был поврежден снаряд и обрвана кабель.

Во время 18-й антарктической экспедиции в 1972 г. советскими учеными была пробурена самая глубокая сухая скважина (без использования нефтяных), ее глубина составила 952,5 м.




Нефтяные платформы в США возведены в море впервые на платформе «Бонни» в штате Техас. Платформа, построенная в 1946 г. на платформе «Славейт». Конструкция состоит из 2,8 млрд долл. весит 460 тыс. т. Ее высота — 30 м. Все платформы имеют Турецкий проект под названием 3-й этап Международного проекта центра в Нью-Йорке 1290 тыс. т.

Самая высокая морская буровая установка, расположенная на нефтяной платформе, находится в Мексиканском заливе, в 160,93 км от побережья штата Луизиана, США. Ее высота — 338,4 м. Платформой владеет компания «Ионик» и «Окспидат петролеум».

НЕФТЬ И ГАЗ

Производство нефти • В 1991 г. самым крупным в мире производителем нефти был СССР — 13,968 млрд т. В 1988 г. в СССР добывалось рекордное количество — 12,5 млрд баррелей в день. 2-е место принадлежало Саудовской Аравии — 8,2 млрд баррелей в день, на 3-м месте США — 7,4 км. Великобритания занимает добавляет около 2 млрд баррелей.

Нефтяные месторождения • Крупнейшие нефтяные месторождения в мире — Саудовская Аравия, крупнейшее месторождение АРАМКО, площадь 248 × 35 км.



Нефтяные фонтаны • Самый высокий неогорелый нефтяной фонтан находится в скважине номер 3 месторождения Эльбур-бона Кувейт. Начался август 1956 г. Ежедневно он выбрасывает 120 тыс. баррелей нефти на высоту 32 м.

83

Что можно сказать о реализованном вскрытии оз. Восток? Найти реликтовые формы жизни в повторно выбуренном керне, контактирующем с керосиново-фреоновой смесью, практически нереально. А для нового вскрытия потребуются дополнительные годы на проходку интервала, образцы из которого уже имеются в кернохранилище.

Тем не менее это несомненное достижение: пробурена самая глубокая скважина во льдах, достойная быть внесенной в книгу рекордов Гиннеса, как до этого были отмечены две глубокие скважины, пробуренные горняками на станции Восток в предыдущие годы.

Можно искренне порадоваться за буровиков СПГГУ! Бурение скважины проводилось в совершенно непредсказуемых условиях, и вскрытие оз. Восток можно считать безусловно **высоким техническим достижением**. Прошло почти 42 года с тех пор, как на Востоке, после многих аварий, в апреле 1970 г. была заложена первая скважина, получившая окончательное имя 1-2бис. Кстати, участник тех событий (15-й Советской антарктической экспедиции) Н.Е. Бобин (ныне — профессор) до сих пор учит студентов в СПГГУ. Следует вспомнить имена еще многих и многих горняков: Б.Б. Кудряшова, многие годы курировавшего буровые работы на станции Восток, Г.К. Сте-

панова, сконструировавшего первый электро-механический снаряд, А.М. Шкурко, главного идеолога теплового бурения, А.В. Красилева, талантливого инженера-электронщика. К сожалению, их всех уже нет на свете. Многие выдающиеся буровики-полярники на пенсии — это Б.С. Моисеев, А.А. Земцов, А.Г. Бабий, В.М. Шашкин, а некоторые по-прежнему преподают в Горном — В.К. Чистяков, Э.А. Заривный, А.Н. Дмитриев, Л.К. Горшков, Ю.Д. Мураев.

Долгие годы бурились скважины, происходили аварии, и вот наконец скважина 5Г, заложённая 20 февраля 1990 г., спустя 22 года дошла до дна! Это успех и заслуга всего коллектива буровиков, но прежде всего начальника гляциобурового отряда Николая Ивановича Васильева. Именно его настойчивость (иногда и настырность), голова (а именно такое прозвище — Коля-голова — дали ему еще в студенческие времена) и руки позволили на оборудовании, почти полностью израсходовавшем свой ресурс, добуриться до озера.

Как сказал когда-то один из конструкторов первого атомного ледокола «Ленин», «Риск есть всегда. Без риска даже жениться нельзя». Разумный риск всегда соседствует с великими открытиями. Только его границу провести бывает сложно. С одной стороны этой границы Руал Амундсен, а с другой, к большому сожалению, Роберт Скотт... ■

Литература

1. Липенков В.Я., Истомина В.А., Преображенская А.В. Опыт исследования газового режима подледникового озера Восток // Проблемы Арктики и Антарктики. 2003. Вып.74. С.66—87.
2. Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В. Озеро Восток, Восточная Антарктида: мощность ледника, глубина озера, подледный и коренной рельеф // Лед и снег. 2011. №1 (113). С.25—35.
3. Зотиков И.А. Антарктическое подледниковое озеро Восток. Гляциология, биология, планетология. М., 2010.
4. Липенков В.Я., Екайкин А.А., Шибяев Ю.А. и др. Гидрологический режим подледникового озера Восток по данным изучения керна озерного льда // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. Вып.2 (85). С.77—89.
5. Kapitsa A.P., Ridley J.K., de Q. Robin G. et al. A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica // Nature. 1996. V.381. P.684—686.
6. Талалай П.Г., Чистяков В.К. Экологические проблемы бурения в Антарктиде // Российская наука: Грани творчества на грани веков: Сб. науч.-популярн. статей / Под ред. акад. В.П. Скулачева. М., 2000. С.374—382.
7. Яковлев А.М., Литвиненко В.С., Коваленко В.И., Холодок А.Н. Экологизация промывки при бурении скважин: Учеб. пособие. СПб., 1994.
8. Vasiliev N.I., Talalay P.G., Bobin N.E. et al. Deep drilling at Vostok station, Antarctica: history and recent events // Annals of Glaciology. 2007. V.47. P.10—23.
9. Булат С.А., Васильева Л.П., Пети Ж.Р. и др. Молекулярно-биологическое исследование бактериального состава жидкости для бурения из скважины 5Г-1, станция Восток, Антарктида // Труды ААНИИ. 2003. Вып.446. С.88—102.
10. Талалай П.Г. Проникновение в подледниковые озера: планы и реальность // Природа. 2006. №9. С.45—53.
11. Talalay P.G. Dimethyl siloxane oils as an alternative borehole fluid // Annals of Glaciology. 2007. V.47. P.82—88.
12. Verkulich S.R., Kudryashov B.B., Barkov N.I. et al. Proposal for penetration and exploration of sub-glacial Lake Vostok, Antarctica // Mem. of National Inst. of Polar Research. 2002. №56. P.245—252.
13. Талалай П.Г. Первые итоги бурения самой глубокой скважины во льдах Гренландии // Природа. 2005. №11. С.32—39.
14. Bulat S., Alekhina I., Petit J.-R. et al. Bacteria and archaea under Greenland ice sheet: NGRIP 'red' ice issue // Geophysical Research Abstracts. 2005. V.7.
15. Motoyama H. The second deep ice coring project at Dome Fuji, Antarctica // Scientific Drilling. 2007. №5. P.41—43.
16. Ueda H.T. Byrd Station drilling 1966—69 // Annals of Glaciology. 2007. V.47. P.24—27.

Нейтронография: задачи и способы решения

А.М.Балагуров

Нынешний год особый для «структурщиков» — специалистов, занимающихся определением атомной структуры вещества: ровно 100 лет назад немецкие ученые М.фон Лауэ, В.Фридрих и П.Книппинг открыли явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллах. Возник новый экспериментальный метод — дифракционный анализ атомной структуры, продемонстрировавший исключительную эффективность в самых различных областях исследований конденсированных сред. Пожалуй, среди всех физических методов исследования вещества именно он используется в настоящее время чаще всего.

Дифракция нейтронов на кристаллах была открыта заметно позже, и по своей доступности и распространенности нейтронный структурный анализ заметно уступает рентгеновскому. Однако специфические особенности взаимодействия нейтронов с веществом делают этот метод во многих отношениях уникальным и, соответственно, весьма востребованным. Поскольку основные принципы обоих методов одинаковы, естественно, что развитие нейтронного структурного анализа, или «структурной нейтронографии», как его называют в России, происходило под сильным влиянием рентгеновского метода, что позволяет считать 2012 год юбилейным и для нейтрон-



Анатолий Михайлович Балагуров, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории нейтронной физики им.И.М.Франка Объединенного института ядерных исследований (Дубна). Область научных интересов — нейтронные дифракционные исследования атомной и магнитной структуры кристаллов, экспериментальные методы нейтронографии.

ных «структурщиков». Поэтому есть повод оглянуться на историю и поговорить о современном состоянии и перспективах нейтронографии. Примеры, которыми иллюстрируется изложение, взяты главным образом из публикаций сотрудников Лаборатории нейтронной физики им.И.М.Франка, работающих на одном из лучших исследовательских нейтронных источников в мире — на импульсном реакторе ИБР-2 в ОИЯИ (Дубна).

Начало

Ко времени открытия нейтрона Дж.Чедвиком в 1932 г. идея о наличии у материальных частиц волновых свойств уже прочно вошла в физику. В виде гипотезы она была высказана Л.де Бройлем в 1924 г. и подтверждена экспериментально в 1927 г. в опытах с электронами. Квантовая, или волновая, механика,

предложенная Э.Шрёдингером в 1926 г., оперировала с волновой функцией («волнами» материи) и к 1932 г. уже вполне оформилась как рабочий инструмент физики. Поэтому в некоторой степени даже странно, что мысль о дифракции нейтронов на кристаллах была в явной форме сформулирована только в 1936 г. [1] и только после этого были проведены первые эксперименты, в которых удалось наблюдать дифракционные эффекты при рассеянии нейтронов на кристаллах. Статьи, описывающие эти и другие пионерские опыты по дифракции нейтронов, приведены в юбилейном сборнике [2].

По-видимому, задержка была связана с тем, что нейтроны в то время получали только с помощью радиоактивных источников и энергия частиц оказывалась в среднем больше 10^6 эВ. Простые вычисления показывают: подобные нейтроны не мо-

гут испытывать дифракцию на кристаллах, так как длина волны де Бройля для них оказывается слишком малой ($\lambda \approx 0.0002 \text{ \AA}$). Но в 1934 г. Э.Ферми с сотрудниками открыли процесс замедления нейтронов в водородосодержащих веществах, и стало понятно, что если окружить радиоактивный источник нейтронов парафином, то количество нейтронов с энергиями меньшими, чем 1 эВ, становится достаточно большим и их дифракция на кристаллах может быть обнаружена. Именно так и было сделано в первых экспериментах, выполненных в 1936 г.

Таким образом, формально открытие дифракции нейтронов произошло на 24 года позднее открытия дифракции рентгеновских лучей. Однако развитие нейтронного метода задержалось еще сильнее. Это связано с тем, что интенсивность нейтронов, получаемых от радиоактивных источников, была достаточной для демонстрационных опытов, но не для исследовательской работы. И только 10 лет спустя, после того как были построены первые ядерные реакторы, стало возможным осуществить «настоящие» нейтронные дифракционные эксперименты. В самом конце 1940-х го-

дов их центром стал Ок-Ридж (США), где был создан специализированный ядерный реактор для работы на выведенных пучках нейтронов. В проведенных там экспериментах (в основном будущим лауреатом Нобелевской премии К.Шаллом, рис.1), впервые наблюдались [3] изотопические эффекты в дифракции нейтронов (рис.2) и была подтверждена [4] гипотеза о существовании антиферромагнитного упорядочения в кристаллах. Несколько позже были выполнены и первые эксперименты по неупругому рассеянию нейтронов (в 1952 г. — Б.Брокхаусом, разделившим впоследствии Нобелевскую премию с Шаллом) с целью изучить атомную динамику в кристаллах и жидкостях, после чего окончательно выяснилось: рассеяние нейтронов — исключительно мощный экспериментальный метод изучения свойств вещества на атомном уровне.

Почти одновременно с работами по дифракции нейтронов в Ок-Ридже начались исследования на реакторе ВЕР0 в Харуэлле (Англия), который был одним из первых реакторов, введенных в эксплуатацию (1948) за пределами США. В Харуэлле выполнил свои первые работы один из классиков в области дифракции



Рис.1. К.Шалл (1915—2001). Лауреат Нобелевской премии 1994 г. (вместе с Б.Брокхаусом): «За новаторские работы по развитию методов рассеяния нейтронов для изучения конденсированных сред».

нейтронов Дж.Е.Бейкон, сосредоточившийся на исследованиях монокристаллов. В 1950 г. он построил «двухкристальный спектрометр», специально предназначенный для изучения монокристаллов, и написал (вместе с К.Лонсдейл) первый обзор по дифракции нейтронов [5]. В этом

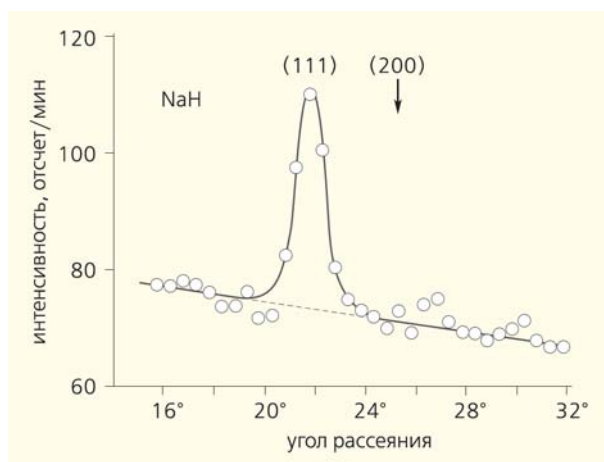
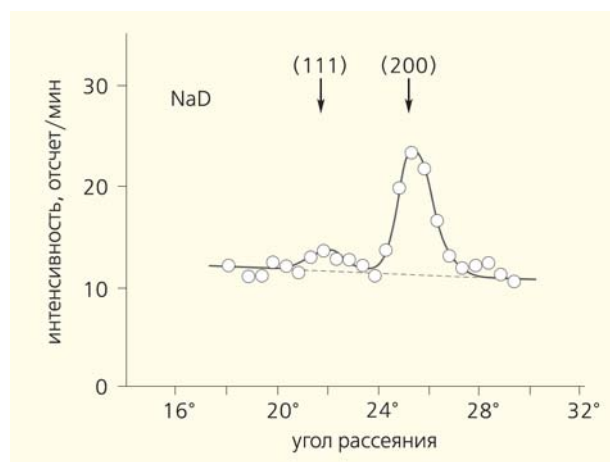


Рис.2. Первая демонстрация нейтронных дифракционных изотопических эффектов при замене водорода на дейтерий [3]. Соединение NaH (и NaD) имеет структуру типа NaCl, в которой интенсивности дифракционных пиков (111) и (200) пропорциональны $(b_{\text{Na}} - b_{\text{H}})^2$ и $(b_{\text{Na}} + b_{\text{H}})^2$ соответственно, где b — когерентная длина рассеяния нейтронов элементом. Поскольку b_{Na} и $b_{\text{D}} > 0$, а $b_{\text{H}} < 0$ (их абсолютные величины близки), то пик (111) сильный, а пик (200) слабый при дифракции нейтронов на NaH, и, наоборот, пик (111) слабый, а пик (200) сильный при дифракции нейтронов на NaD.



Рис.3. Р.П.Озеров (справа) с проф. Х.Фуссом (Германия) во время школы по нейтронной физике (Дубна, 1982 г.).

обзоре приведены, в частности, таблица с данными по когерентным длинам рассеяния почти для всех элементов таблицы Менделеева и для нескольких десятков изотопов, а также формулы для расчета интенсивностей дифракционных пиков от моно- и поликристаллов, т.е. справочный материал, необходимый для практической работы по структурному анализу кристаллов.

В России начало применения рассеяния нейтронов для исследований конденсированных сред относится к концу 1950-х годов, когда были введены в строй нейтронные реакторы ИРТ в Москве (Курчатовский институт, 1957) и ВВР-М в Гатчине (Петербургский институт ядерной физики, 1959), поскольку на первом нейтронном реакторе в СССР (Курчатовский институт, 1944) выведение пучков нейтронов не было предусмотрено. О ранних этапах развития дифракции нейтронов в мире и в Советском Союзе можно прочитать в подробном историческом обзоре Р.П.Озерова [6].

Руслан Павлович Озеров (рис.3) по праву считается од-

ним из основоположников нейтронографии в СССР. Сам термин «нейтронография», который сейчас в русскоязычной литературе принято называть совокупность экспериментальных методов исследования структуры и динамических свойств конденсированных сред на атомном уровне с помощью рассеяния нейтронов низких энергий, появился в его первых обзорах по дифракции нейтронов, опубликованных в «УФН» с 1949 по 1952 г. Ему же принадлежит идея написания первых русскоязычных монографий по рассеянию нейтронов, среди которых особо выделяется фундаментальный трехтомник «Нейтроны и твёрдое тело» [7].

В настоящее время в мире насчитывается около 50 нейтронных центров, в которых действуют стационарные или импульсные исследовательские источники нейтронов и в обязательном порядке ведутся структурные дифракционные исследования. Запросы на получение времени для дифракционного эксперимента, особенно на наиболее современных, светосиль-

ных источниках нейтронов (их число не превышает 15), как правило, в несколько раз превышают имеющиеся возможности.

Нейтронная дифракция: отличия от рентгеновской

На исследовательских источниках можно получать пучки, содержащие нейтроны в очень широком интервале энергий — от так называемых быстрых ($E > 10^5$ эВ) до ультрахолодных ($E \sim 10^{-7}$ эВ). Для изучения структуры и динамики конденсированных сред в основном используются «тепловые» и «холодные» нейтроны, с энергиями $E \approx 0.02$ эВ и $E < 10^{-2}$ эВ. Слово «тепловые» здесь не случайно. Если поставить в соответствие энергии нейтрона температуру, для $E = 0.025$ эВ получится $T \approx 290$ К = 17°C, т.е. температура тела, находящегося в тепловом равновесии со средой при комнатной температуре. Дебройлевская длина волны таких нейтронов λ примерно 1.8 Å, и, таким образом, *энергия и длина волны тепловых нейтронов идеально отвечает характерным энергиям тепловых движений атомов и межатомным расстояниям в кристаллах.* Именно это свойство тепловых нейтронов позволяет детально изучать с их помощью динамику и структуру на атомном уровне, и уже в классических работах конца 1940-х годов оно совершенно справедливо было объявлено главным достоинством метода рассеяния нейтронов как инструмента для исследования свойств конденсированных сред.

Нейтрон, проникая в среду, испытывает взаимодействие нескольких различных типов, но основными оказываются *сильное и электромагнитное.* Первое из них проявляется, если нейтрон взаимодействует с ядром, поэтому оно обычно называется *ядерным.* Магнитное дипольное взаимодействие возникает между магнитным момен-

том нейтрона и магнитным моментом атома, складывающимся из спиновых и орбитальных моментов электронов. Рассеяние тепловых или холодных нейтронов почти на всех ядрах можно характеризовать некоторыми *длинами рассеяния*, с важной специфической особенностью: они нерегулярным образом изменяются от элемента к элементу и от изотопа к изотопу. В результате длины рассеяния элементов, находящихся в разных местах таблицы Менделеева, могут быть сравнимы между собой и, наоборот, соседние элементы или изотопы могут иметь заметно различающиеся длины рассеяния.

Таким образом, взаимодействие нейтронов с веществом совсем другое, чем у рентгеновских лучей и синхротронного излучения, которые рассеиваются электронной оболочкой атома, что и определяет те области исследований конденсированных сред, где использование дифракции нейтронов наиболее эффективно. Традиционно к ним относятся структурный анализ: соединений, состоящих из легких и тяжелых атомов (гидридов, оксидов); соединений с близкими по номеру элементами (сплавов, интерметаллидов); биологических соединений с применением изотопического контрастирования (в основном с заменой водорода на дейтерий) отдельных фрагментов структуры; а также анализ магнитной структуры кристаллов, т.е. определение величины и направления атомных магнитных моментов. Во всех перечисленных случаях рентгеновские лучи необходимых деталей «не видят».

Важный фактор — очень малое (по сравнению с рентгеновскими лучами) поглощение нейтронов в среде. Лишь немногие элементы и изотопы сильно поглощают тепловые нейтроны. Как следствие, глубина проникновения нейтронов в вещество может быть сравнительно большой (сантиметры), что позволя-

ет изучать объемные материалы и инженерные изделия.

Наконец, стоит отметить, что и в целом взаимодействие нейтронов низких энергий с веществом относительно слабое, и, соответственно, в ходе дифракционного эксперимента структура, химические и другие свойства вещества фактически никак не изменяются. Последнее для рентгеновских исследований (особенно синхротронных, где интенсивность излучения очень велика) справедливо далеко не всегда.

Источники и приборы

Современные исследовательские нейтронные источники можно разделить на два принципиально разных типа — *стационарные* и *импульсные*. К первым относятся многочисленные ядерные реакторы, ко вторым — пока еще немногочисленные источники на основе протонных ускорителей (Spallation Neutron Source, SNS). И те и другие в нейтронных лабораториях мира уже давно используются как стандартные: реакторы — с 1950-х годов, SNS — с середины 1980-х. Из нестандартных источников следует упомянуть SINQ в PSI (Швейцария), который, хоть и SNS-источник, но непрерывного действия [8], и ИБР-2 в ОИЯИ (Россия), который, хоть и ядерный реактор, но импульсный [9].

В свою очередь, среди импульсных в настоящее время выделяют источники с коротким (ориентировочно с $\Delta t_0 < 50$ мкс) и с длинным импульсом (с $\Delta t_0 > 300$ мкс). Необходимость такого разделения связана с тем, что длительность (ее называют «шириной») импульса практически определяет разрешающую способность дифрактометра и, следовательно, возможность проведения тех или иных экспериментов. Первый тип (так называемые SPS — Short Pulse Source) представляют все ныне действующие SNS (два в США, по од-

ному в Великобритании и в Японии). Пока единственным действующим источником с длинным импульсом (LPS — Long Pulse Source) остается реактор ИБР-2, ширина импульса которого составляет около 350 мкс, но уже обоснованы планы создания SNS с длинным импульсом, в частности, нового общеевропейского источника ESS (European Spallation Source), который начал сооружаться в Швеции [10]. Расчеты показали, что экономически это намного более выгодный вариант, чем SPS, а формирование нейтронных импульсов с необходимой для экспериментов шириной можно реализовать с помощью механического прерывателя.

Все основные методики рассеяния нейтронов, включая дифракцию, успешно реализованы и на стационарных, и на импульсных источниках, но от типа источника в сильной степени зависит способ постановки эксперимента. Нейтронный дифрактометр на стационарном источнике фактически копирует рентгеновский, т.е. определяющим фактором оказывается использование монохроматического пучка с длиной волны λ_0 (далее он называется « λ_0 -дифрактометр»). В зависимости от задачи степень монохроматизации пучка $\Delta\lambda/\lambda$ можно менять в широких пределах (знаком Δ здесь и далее обозначена неопределенность величины или ширина распределения), как правило, она составляет $\approx (2+10) \cdot 10^{-3}$. На импульсных источниках нейтронов для измерения дифракционного спектра (нейтронограммы) на образец направляется пучок нейтронов со сплошным («белым») спектром, а длина волны нейтрона определяется с помощью метода времени пролета на *TOF-дифрактометре* (от английского Time-Of-Flight).

Появление импульсных источников нейтронов как альтернативы стационарным ядерным реакторам породило многочисленные попытки сравнения как

самих источников, так и спектрометров на них с точки зрения эффективности проведения экспериментов того или иного типа. Вообще-то еще в 1968 г. Р.Браггер писал, что нейтронографические эксперименты с большей, чем на стационарных реакторах, эффективностью, могут вестись на мощных импульсных источниках нейтронов, которые и следует строить вместо реакторов [11]. Практика показала, что он был прав лишь частично: исследовательские стационарные реакторы продолжают до сих пор широко и успешно использоваться, но, действительно, число импульсных источников растет, а работы на них приобретают все больший вес. Немаловажный фактор в аргументации — существенно меньшая радиационная опасность SNS, в них нет больших количеств делящихся веществ и опасность представляет лишь радиационный фон.

Если все же рассматривать только научные аргументы, стационарные и импульсные источники следует скорее рассма-

тривать как взаимодополняющие, чем альтернативные. Принципиально разная постановка эксперимента приводит к тому, что исследование одного и того же объекта на λ_0 - и TOF-дифрактометрах с близкими основными параметрами (светосилой, разрешением) дает несколько различную информацию. Основные причины различий — разный интервал по переданному импульсу, различное соотношение эффекта и фона в разных участках спектра, различие в поправках, вводимых в интенсивности при переходе к структурным факторам и т.д. Например, дифрактометр на стационарном источнике обычно обеспечивает большую прецизионность структурных данных — длин связей и валентных углов. Однако аккуратное определение структуры на локальном уровне возможно только на TOF-дифрактометре с большим диапазоном по переданному импульсу. Современная практика показала, что рутинный эксперимент может быть проведен с примерно одинаковым успехом на любом

типе источника. Но прецизионные или нестандартные данные можно получить только при адекватном выборе типа источника и дифрактометра. Более того, в особых случаях очень эффективным оказывается проведение эксперимента на обоих типах дифрактометров.

Переход к непрерывному спектру и применению метода времени пролета для развертки дифракционной картины по длине волны имеет ряд преимуществ. Наиболее важное из них — многократное увеличение коэффициента использования нейтронов от источника. В результате, несмотря на то что средняя мощность и, соответственно, средний по времени поток нейтронов на существующих импульсных источниках значительно меньше (~1 МВт), чем на стационарных реакторах (от 10 до 100 МВт), скорость накопления дифракционных данных оказывается сравнимой, а для некоторых специальных типов экспериментов она может быть во много раз выше на TOF-дифрактометре.

Разрешение (разрешающая способность) нейтронного дифрактометра — главная его характеристика, во многом определяющая возможность постановки тех или иных экспериментов. В случае анализа поликристаллического вещества функцию разрешения принято выражать в виде $R(d) = \Delta d/d$, где d — межплоскостное расстояние. Для TOF-дифрактометра при заданной ширине импульса для улучшения разрешения следует увеличивать время пролета (т.е. пролетное расстояние) и ставить детектор при большом угле Брэгга, т.е. работать в геометрии обратного рассеяния. В настоящее время на специализированных нейтронных TOF-дифрактометрах высокого разрешения достигается уровень $\Delta d/d \leq 0.001$, что сравнимо с лабораторной рентгеновской установкой и лишь ненамного хуже, чем на источниках синхротронного излучения (рис.4). Из рисунка видно,

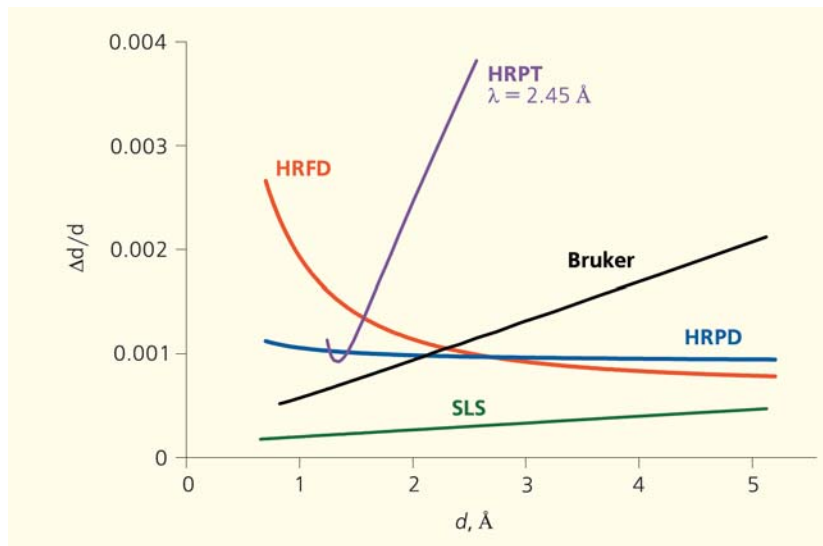


Рис.4. Сравнение зависимости разрешающей способности нескольких нейтронных и рентгеновских дифрактометров от межплоскостного расстояния: Bruker — лабораторная рентгеновская установка, SLS — дифрактометр на источнике синхротронного излучения SLS (Швейцария), HRPT — нейтронный λ_0 -дифрактометр на источнике SINQ (Швейцария), HRPD — нейтронный TOF-дифрактометр на источнике ISIS (Великобритания), HRFD (ФДВР в российской нотации) — нейтронный корреляционный TOF-дифрактометр на источнике ИБР-2 (Россия).

что, в отличие от нейтронного λ_0 -дифрактометра, функция разрешения TOF-дифрактометра в широком диапазоне межплоскостных расстояний остается почти постоянной, что заметно помогает при анализе структурных фазовых переходов и многофазных состояний в кристаллах.

Необходимые формальности

Самая общая задача, которая может быть решена с помощью дифракции нейтронов на монокристалле, — восстановление распределения рассеивающей ядерной или магнитной плотности в элементарной ячейке. Для этого надо измерить интенсивности дифракционных пиков, определить из них модули структурных факторов и каким-то образом найти их фазы, затем выполнить обратное преобразование Фурье для когерентных длин рассеяния $b(\mathbf{r})$, или магнитной плотности, $m(\mathbf{r})$. Если известна модель структуры, можно уточнить ее характеристики (параметры элементарной ячейки, координаты атомов, их тепловые факторы, факторы заполнения позиций, величину магнитного момента и т.д.) с помощью какой-либо процедуры минимизации функционала, построенного на разностях измеренных и вычисленных интенсивностей. Есть некоторые особенности применения этих процедур в случае нейтронов по сравнению с рентгеновскими лучами. Например, распределение $b(\mathbf{r})$ может изменять знак в пределах элементарной ячейки, тогда как рентгеновская рассеивающая плотность (по сути — электронная) везде положительна.

Нейтрон — элементарная частица, поэтому для вычисления связи структурных факторов с экспериментально измеряемыми интенсивностями необходимо решить *квантовую задачу* о рассеянии нейтронной волны на совокупности атомов. Для этого надо задать потенци-

ал взаимодействия волны со всеми атомами кристалла и решить соответствующее уравнение Шрёдингера. Довольно понятно, что сделать это точно и в общем виде невозможно. Получить достаточно хорошее приближенное решение помогают несколько обстоятельств. Во-первых, оказывается, что вместо точного потенциала взаимодействия нейтрона с ядром можно использовать так называемый псевдопотенциал Ферми, имеющий очень простой и удобный для вычислений вид. Во-вторых, отмеченная относительно слабость взаимодействия тепловых нейтронов с веществом дает возможность при вычислении сечения рассеяния ограничиться первым порядком теории возмущений. В-третьих, периодичность структуры кристалла (трансляционная инвариантность) позволяет свести вычисления по всему объему кристалла к одной элементарной ячейке. Наконец, предполагая отсутствие корреляций в тепловых движениях атомов и расположении изотопов элементов, можно провести необходимые усреднения и получить достаточно простые формулы для интенсивности дифракционных пиков. Все эти процедуры подробно изложены в книгах [7].

Так же, как в случае фотонов (видимого света или рентгеновских лучей), для качественного анализа дифракции нейтронных волн на кристалле можно использовать принцип Гюйгенса—Френеля. А именно для получения амплитуды волны $f(\mathbf{Q})$, рассеянной с передачей импульса \mathbf{Q} , надо просто-напросто попробовать сложить все рассеянные на атомах кристалла волны. При сложении следует выделить сумму по атомам, которые входят в элементарную ячейку кристалла, и сумму по элементарным ячейкам. Поскольку все ячейки идентичны, сумма по атомам внутри ячейки не зависит от ее номера и эти две суммы войдут в результат как произведение, т.е. $f(\mathbf{Q}) \sim F \cdot M(\mathbf{Q} - 2\pi\mathbf{H})$,

где F (результат суммирования внутри ячейки) — структурный фактор. Функция M является результатом суммирования по всем элементарным ячейкам кристалла и определяет положение и форму дифракционных пиков, т.е. геометрические характеристики дифракционной картины. В ее аргумент входит вектор \mathbf{H} , который называется вектором обратной решетки кристалла. Его ориентация в пространстве связана с ориентацией кристалла относительно системы координат, где рассматривается процесс дифракции. Можно показать, что «ширина» функции M зависит от размеров кристалла и степени его совершенства. В предельном случае большого и совершенного кристалла эта функция становится очень узкой, а ее максимум соответствует нулевому значению аргумента. Отсюда, в частности, следует знаменитая формула Вульфа—Брэгга, определяющая положение дифракционных пиков в шкалах углов рассеяния и длин волн: $2d\sin\theta = \lambda$, где d — межплоскостное расстояние в кристалле, θ — половинный угол рассеяния (угол Брэгга), λ — длина волны излучения.

Равнение на задачи

Ярко выраженная тенденция современной структурной нейтронографии — специализация нейтронных дифрактометров по нескольким типам, каждый из которых предназначен для наиболее эффективного решения той или иной задачи. Эта тенденция связана с повышенной сложностью изучаемых проблем и, кроме того, с новыми техническими возможностями формирования нейтронных пучков и их детектирования.

Современный дифрактометр для *структурного анализа монокристаллов* должен быть оборудован двухкоординатным позиционно-чувствительным детектором (2D ПЧД) с пространственным разрешением на уров-

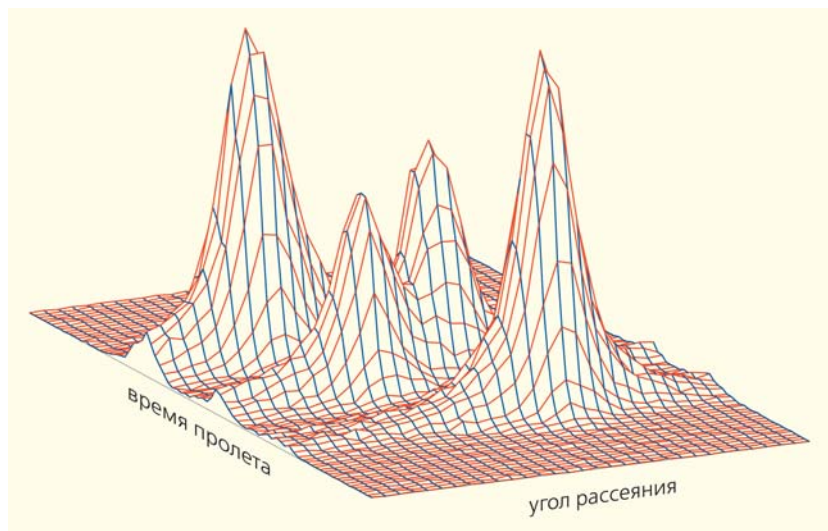


Рис.5. Распределение интенсивности в окрестности отражения (400) от монокристалла KD_2PO_4 , находящегося в сегнетоэлектрической фазе при температуре 80 К. В этой фазе в кристалле возникают области (двойники) с разной ориентацией осей ячейки. Как результат, один дифракционный пик, видимый в параэлектрической фазе, распадается на четыре компонента. Измерения проведены на TOF-дифрактометре (реактор ИБР-2) с использованием позиционно-чувствительного детектора. Все точки распределения измерялись одновременно, что позволило сократить время эксперимента в сотни раз.

не 0.2 см по обеим координатам. Высокое разрешение по переданному импульсу, как правило, необязательно. Позиционный детектор позволяет охватить большую область в пространстве переданных импульсов, информация о которой накапливается одновременно, что позволяет резко сократить время ее набора, упростить проведение эксперимента и значительно улучшить качество экспериментальных данных (рис.5).

Прецизионное *уточнение структуры поликристаллов*, с анализом анизотропных тепловых факторов ведется на дифрактометрах с $\Delta d/d \leq 2 \cdot 10^{-3}$. Обязательное условие — наличие больших детекторов, охватывающих телесный угол ~ 1 стерадиан. На TOF-дифрактометрах используются детекторные системы с расположением отдельных детекторов на разных углах рассеяния (рис.6).

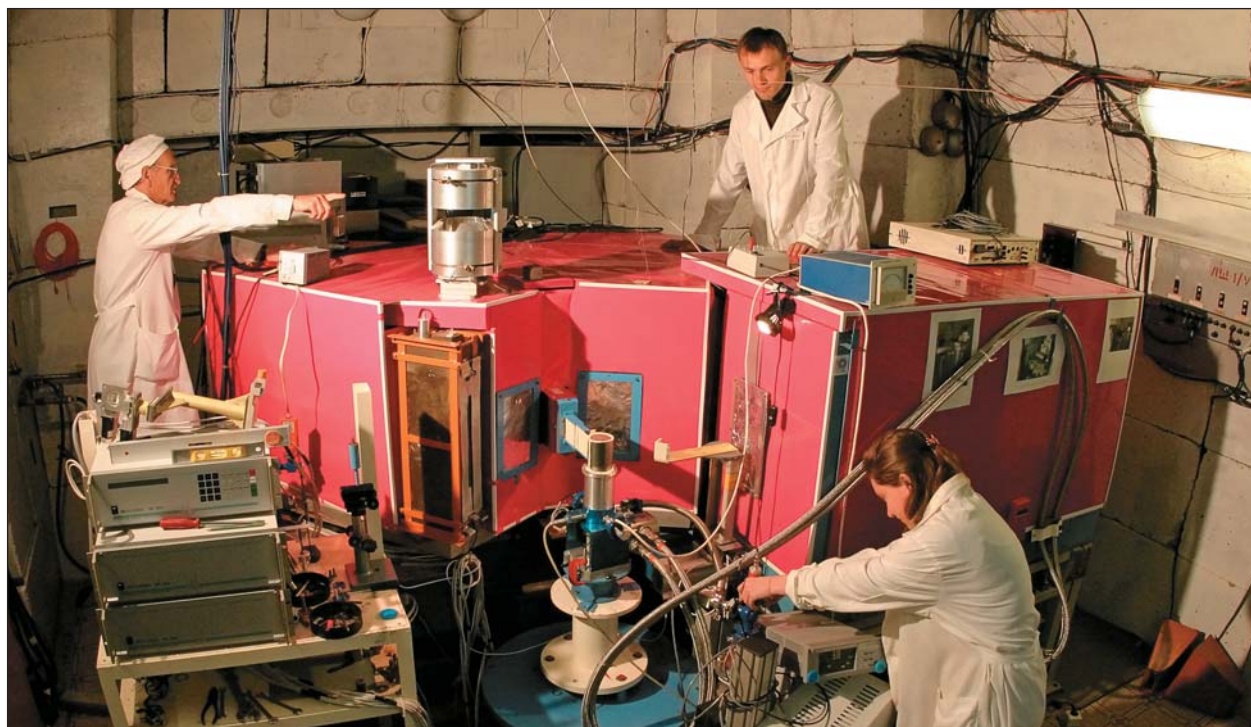


Рис.6. Место расположения образца на дифрактометре ФДВР на реакторе ИБР-2 (ЛНФ ОИЯИ). Образец располагается в контейнере на оси поворотного стола. Пучок нейтронов (сечением 1×6 см) формируется на нем коллиматором из нитрида бора (белые пластинки). Вокруг образца при разных углах рассеяния располагаются детекторы большой площади в защите (контейнерах с красными стенками). К образцу по шлангам подается холодный гелий из рефрижератора, с помощью которого температура может быть снижена до нескольких градусов Кельвина. На защите детектора (слева) видна зеркальная печь, позволяющая нагревать образец до 1000°C .

Стандартным методом обработки дифракционных спектров поликристаллических веществ уже давно служит способ, предложенный голландским физиком Х.Ритвельдом [12] (рис.7). Изначально он предназначался (и долгое время использовался) для обработки именно нейтронных данных, но сейчас с успехом применяется и в случае рентгеновского или синхротронного излучений. В нем предполагается, что измеряемый профиль дифракционного спектра может быть описан аналитической функцией, зависящей от экспериментальных и структурных переменных. Кроме того, считается, что начальные значения структурных параметров известны с некоторой точностью и речь идет об их уточнении с помощью метода наименьших квадратов или каких-либо других методов минимизации функционалов. Результат обработки представляется в виде графика, включающего в том числе разностную функцию, как правило, нормированную на статистическую ошибку. Пример дифракционного спектра, обработанного по методу Ритвельда, показан на рис.8. Спектр измерен на фурье-дифрактометре высокого разрешения (ФДВР) на реакторе ИБР-2. Корреляционная фурье-дифрактометрия, развитая в совместных работах финских и российских физиков [13], позволяет получить очень высокое разрешение (особенно в области больших межплоскостных расстояний) на сравнительно малых пролетных базах. Из рис.4 видно, что разрешение нейтронных дифрактометров HRPD (High Resolution Powder Diffractometer на SNS источнике ISIS, Великобритания) и ФДВР (ИБР-2) практически одинаково для $d > 2 \text{ \AA}$, несмотря на то что пролетное расстояние для HRPD составляет 100 м, тогда как для ФДВР оно равно 20 м.

Специфические особенности нейтронографии делают ее исключительно мощным мето-

дом изучения необратимых переходных процессов в конденсированных средах непосредственно в ходе процесса. В литературе исследования этого типа известны как *эксперименты в реальном времени* (Real Time — RT). Для их проведения требуется прежде всего высокая светосила дифрактометра, зависящая от полного потока нейтронов на образце и телесного угла детекторной системы. Для наиболее светосильных нейтронных дифрактометров на стационарных реакторах достижимое временное разрешение при анализе процесса составляет обычно несколько минут. На специализированном дифрактометре D20 (Институт им.Лауэ и Ланжевена, Франция) достигнуто секунднй диапазон. На реакторе ИБР-2, обладающем рекордным импульсным потоком, еще в 1980-х годах была выполнена серия экспериментов с временным разрешением в диапазоне 2 с — 5 мин [14] и получен целый ряд результатов по гидратации компонентов цементов, ки-



Рис.7. Х. Ритвельд (Голландия), придумавший и реализовавший (в 1968 г.) новый метод обработки дифракционных данных, носящий теперь его имя.

нетике сорбции и десорбции воды липидными мембранами, по твердофазному синтезу высокотемпературных сверхпроводников, по кинетике фазовых

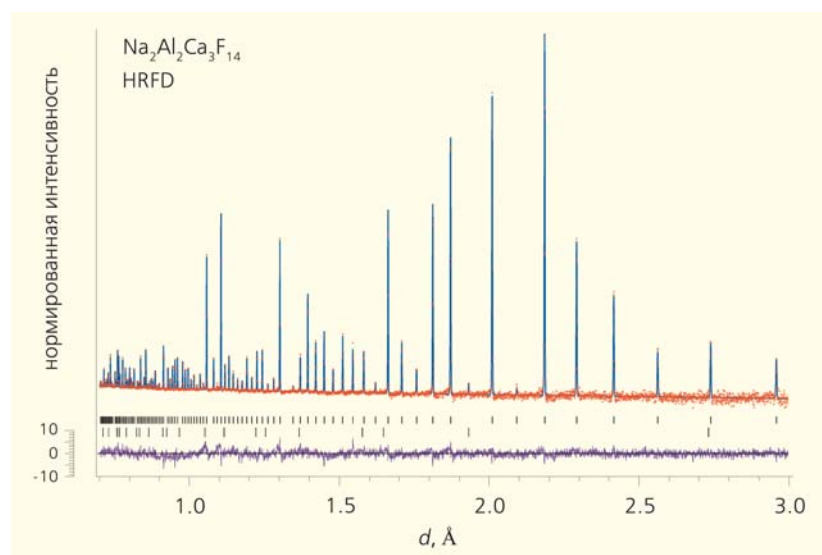


Рис.8. Типичный нейтронный дифракционный спектр (интенсивность как функция межплоскостного расстояния) для поликристаллического вещества, измеренный на ТОФ-дифрактометре высокого разрешения (ФДВР, ИБР-2). Показаны экспериментальные точки (красные), рассчитанная (синяя линия) и разностная (фиолетовая линия) функции. Разностная кривая нормирована на стандартное отклонение в точке. Вертикальные штрихи показывают расчетные положения дифракционных пиков основной (кристалл $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Ca}_3\text{F}_{14}$, верхний ряд) и примесной фаз CaF_2 (нижний ряд).

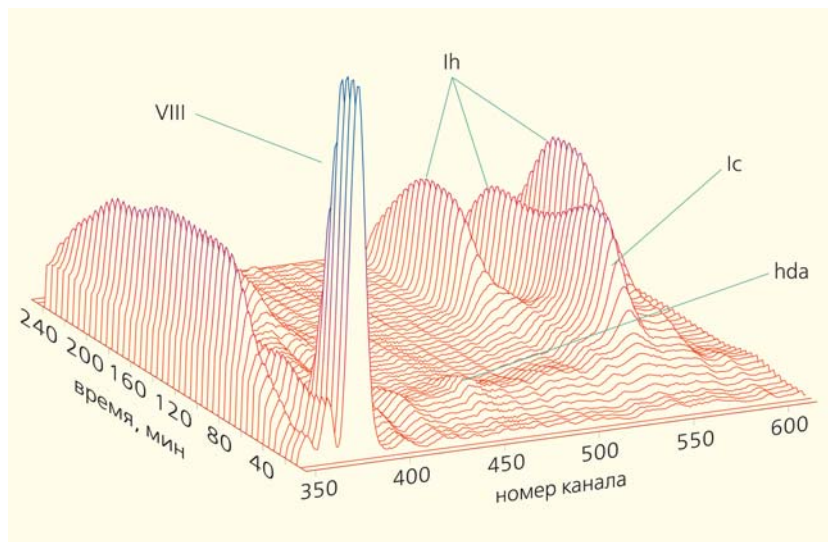


Рис.9. Эволюция дифракционных спектров фазы VIII тяжелого льда (D_2O) в ходе нагревания от 94 К до 290 К со скоростью около 5 град/мин. Горизонтальная ось соответствует межплоскостным расстояниям в структуре. Ось времени одновременно является осью температуры. Исчезновение кристаллической фазы VIII сопровождается появлением аморфной фазы высокой плотности (hda), затем кристаллической фазы кубического льда (Ic), переходящей в фазу обычного гексагонального льда (Ih) [15].



Рис.10. Ячейка с наковальнями из монокристаллов сапфира, используемая на реакторе ИБР-2 в структурных экспериментах с высоким внешним давлением. Объем образца, помещаемого между наковальнями, составляет несколько кубических миллиметров, максимальное давление — около 70 кбар. Размер ячейки по вертикали — около 15 см.

переходов в дейтериды титана и фазовых превращений метастабильного льда высокого давления (рис.9). В исследовании фазовых переходов во льде только благодаря непрерывному слежению за дифракционными спектрами удалось зарегистрировать возникновение неуловимой до того промежуточной аморфной фазы.

В 2011 г. на ИБР-2 началось создание нового дифрактометра, специально предназначенного для РТ-экспериментов. В проекте этой установки обосновывается, что на реакторе ИБР-2 в принципе можно изучать процессы, длящиеся несколько миллисекунд, что в настоящее время удается только на сверхъярких источниках синхротронного излучения.

Высокая светосила современных нейтронных дифрактометров позволяет проводить *эксперименты с микрообразцами* объемом $\sim 1 \text{ мм}^3$ и меньше. Столь малый объем приходится использовать при помещении кристаллов в ячейки высокого давления с наковальнями (рис.10).

Наковальнями, как правило, служат сапфиры, алмазы или карбид вольфрама. В таких ячейках, в зависимости от объема образца, достигаются давления до 70 кбар (70 тыс. атм.!) с сапфировыми и даже до 400 кбар с алмазными наковальнями. Обзор исследований влияния высокого давления на структуру некоторых сложных оксидов содержится в работе [16].

Следует особо остановиться на применении дифракции нейтронов для изучения *магнитной структуры* кристаллов, поскольку именно в этой области достижения нейтронографии выглядят наиболее весомыми. Несмотря на отсутствие электрического заряда, нейтрон имеет магнитный момент, происхождение которого связывают со сложной внутренней структурой нейтрона; он может взаимодействовать с электронным магнитным моментом атома. В тех случаях, когда моменты атомов выстраиваются периодически как по расположению, так и по направлению, происходит дифракция на магнитной структуре и появляется магнитный вклад в существующие (ядерные) пики или возникают новые, чисто магнитные, дифракционные пики. Анализируя положение пиков и их интенсивность, можно определить тип магнитной структуры, ее симметрию, величину и направление магнитных моментов атомов относительно кристаллографических осей. Легко измеряются упорядоченные магнитные моменты разных атомов и их температурные зависимости (рис.11).

Дифракция нейтронов имеет непосредственное отношение к открытию или доказательству существования практически всех известных типов магнитного порядка в кристаллах. Первый и самый известный пример — подтверждение наличия антиферромагнитного упорядочения [4] спустя почти 20 лет после того, как Л.Неель и Л.Д.Ландау обосновали существование антифер-

ромагнетиков в начале 1930-х годов. В середине 1950-х годов были обнаружены неколлинеарные (скошенные) структуры, теоретическое объяснение чему дал затем И.Е.Дзялошинский. В самом начале 1960-х были открыты модулированные (в том числе спиральные) структуры, которые какое-то время казались экзотикой. Как правило, период модуляции магнитной структуры (за счет вариации величины момента или его ориентации) несоизмерим периоду атомной структуры, т.е. их отношение нельзя выразить как отношение небольших целых чисел. Постепенно было осознано, что модуляция магнитной структуры — это частое и вполне естественное с физической точки зрения явление в кристаллах, и в книге [18] это обосновано.

Совсем новую область исследования представляют наноразмерные упорядоченные магнитные структуры, например образующиеся в MnO, внедренном в поры в стекле [19]. Оказывается, уже при размерах пор около 20 Å можно зарегистрировать магнитную дифракционную картину, т.е. среди атомов Mn возникает магнитный порядок. Температура магнитного упорядочения и критический индекс температурного поведения зависят от размера пор, но тип магнитной структуры такой же, как и в объемном веществе.

Формирование методов анализа магнитных структур происходило под сильным влиянием российских физиков-теоретиков, прежде всего Ю.А.Изюмова (рис.12), монографии которого, особенно [7, том 2] и [18], стали настольными книгами специалистов, занимающихся магнитными структурами. Именно трудами Изюмова и его коллег модель магнитной структуры, необходимую для применения метода Ритвельда, которую долгое время строили в большей степени по интуиции, чем по каким-то правилам, теперь ищут по более-менее рутинной процедуре. Сейчас уже созданы

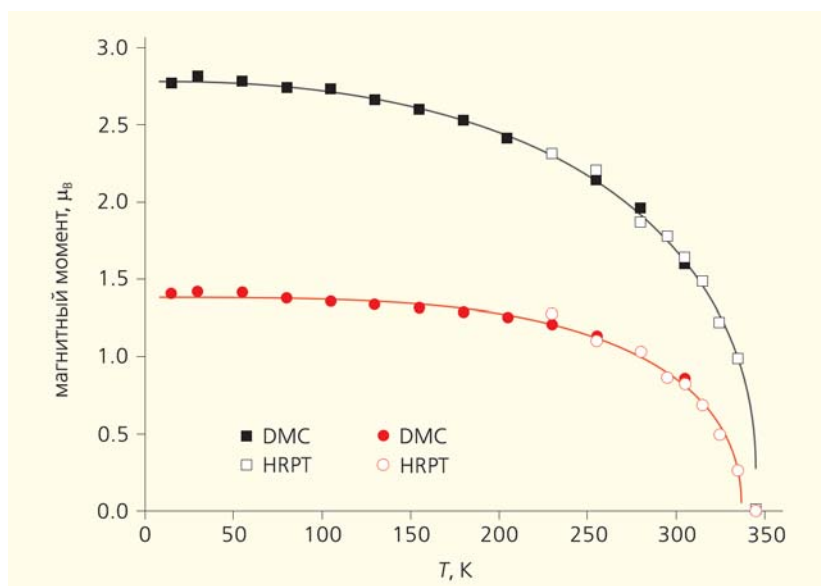
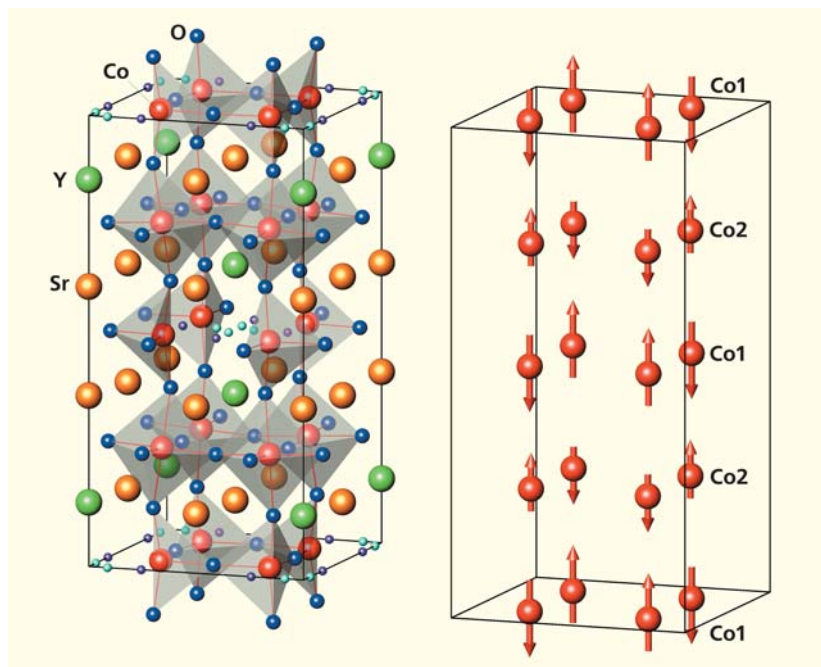


Рис.11. Кристаллическая и магнитная структуры соединения $Sr_3YCo_4O_{10.5}$ с атомами кобальта двух сортов, находящимися в центре кислородных тетраэдров (Co1 с большой величиной магнитного момента) и октаэдров (Co2 с меньшей величиной магнитного момента). На рисунке магнитной структуры показаны только слои атомов Co, магнитные моменты которых упорядочены антиферромагнитно. Внизу приведены температурные зависимости упорядоченных магнитных моментов атомов Co1 (черные значки) и Co2 (красные значки), полученные на двух разных дифрактометрах [17].

весьма эффективные математические алгоритмы, оформленные в виде программных пакетов, без которых расшифровать структуру, вроде изображенной на рис.11, непросто.

В последние годы обязательной областью применения дифракции нейтронов в ведущих нейтронных центрах стали *прикладные исследования*, под которыми понимаются задачи без



Рис.12. Академик Ю.А.Изумов (1933—2010), оказавший определяющее влияние на формирование методов математического анализа магнитных структур в кристаллах.

особой научной новизны, но важные, например, с инженерной точки зрения. Типичный случай — определение с помощью дифракции нейтронов внутренних напряжений в объемных материалах, изделиях или деталях машин. Их недооценка,

как известно, может привести к неожиданному разрушению материала, а их переоценка, как правило, чревата экономическими последствиями — излишним упрочнением или укрупнением изделий. С точки зрения дифракции внутреннюю деформацию материала, вызывающую напряжения, можно разделить на два типа. Макронапряжения приводят к однородному изменению параметров кристаллической решетки в сравнительно больших (на уровне кубических миллиметров) объемах материала. Соответственно, дифракционные пики сдвигаются из положений, характерных для недеформированного материала (рис.13). При неоднородных, случайных по величине и направлению искажениях решетки в пределах одного кристаллита возникают микронапряжения, приводящие к разбросу межплоскостных расстояний и, соответственно, к уширению дифракционных пиков. Основное достоинство дифракции

тепловых нейтронов при изучении внутренних напряжений — их большая проникающая способность, позволяющая сканировать объем образца на значительной глубине (до 3 см в сталях и 10 см в алюминии), что особенно важно для исследования напряжений в технических конструкциях. Современные специализированные нейтронные дифрактометры позволяют определять напряжения с пространственным разрешением 0.5 мм за разумное (порядка 1 ч) время измерения. Поскольку точность измерения межплоскостных расстояний (например, в изделиях из стали) должна быть порядка $5 \cdot 10^{-4}$, для измерения внутренних напряжений нужен дифрактометр с высокой разрешающей способностью.

Перспективы

Итак, мы видим, что дифракция нейтронов развилась в мощный и очень востребованный экспериментальный метод структурных исследований на атомном уровне, без которого наши знания об атомной и магнитной структуре кристаллов были бы далеко не так полны, и запросы на ее использование продолжают расти. Важную роль в этом развитии играет технический прогресс, особенно в создании новых типов детекторов (позиционно-чувствительных и широкоформатных). Регулярно рождаются новые идеи, касающиеся конструирования нейтронных дифрактометров, обработки экспериментальных данных и т.д.

Очевидны также и некоторые проблемы, основная из которых связана с источниками нейтронов. Сейчас строительство новых мощных ядерных реакторов фактически прекратилось. За последние 10 лет в эксплуатацию введены только два высокопоточных реактора: в Германии (Мюнхен, 2004) и Китае (Пекин, 2011); ожидается запуск реактора ПИК в Рос-

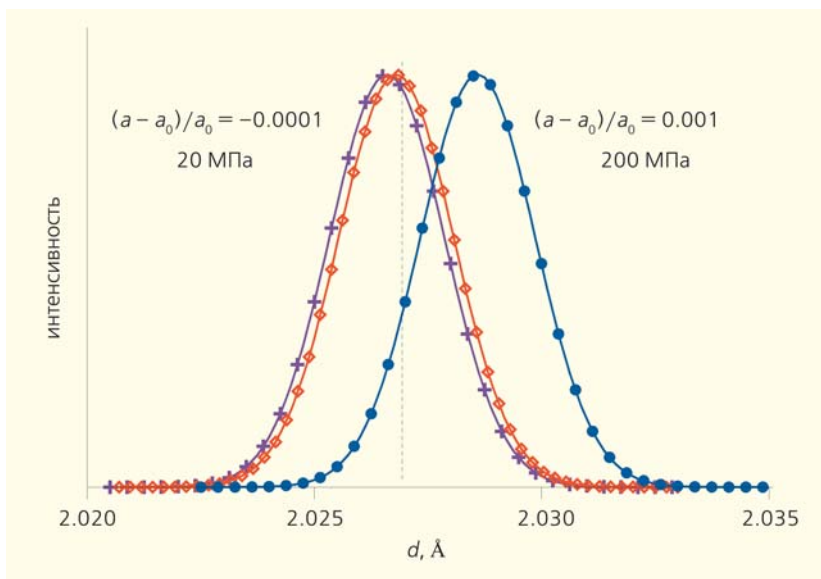


Рис.13. Сдвиг дифракционных пиков под влиянием макронапряжений в железе (α -Fe). Показан дифракционный пик (110) в исходном (ненапряженном) состоянии материала (красная кривая), измеренный на дифрактометре с разрешением $\Delta d/d = 0.001$; a — постоянная решетки. При растяжении образца под действием нагрузки 200 МПа происходит сдвиг пика в сторону больших межплоскостных расстояний (синяя кривая); при сжатии под действием нагрузки 20 МПа — обратный сдвиг пика (в сторону меньших межплоскостных расстояний, фиолетовая кривая), причем сдвиг в 10 раз меньше, чем в первом случае.

сии (Гатчина, 2014). В то же время продолжают закрываться реакторы, отслужившие свой срок. За те же 10 лет только в Европе закрылись несколько — в Германии, Швеции, Дании. Создание новых импульсных источников идет медленно, так как они сложны в эксплуатации и их стоимость слишком велика, но, тем не менее, именно с их развитием связывается будущее нейтрографии. Скорее всего, эта тенденция продолжится, и в результате нейтронные исследования конденсированных сред сосредоточатся в сравнительно небольшом числе мощных международных центров с примерно равным представительством стационарных и импульсных источников нейтронов.

Ситуация в России отражает общемировую. Из действующих нейтронных источников только один — импульсный реактор в Дубне — можно признать вполне современным и способным работать еще по крайней мере до 2030 г. За время стационарной работы ИБР-2 с 1984 г. на нем был создан комплекс современных нейтронных спектрометров, включая несколько специализированных дифрактометров, некоторые из них (Фурье-дифрактометр высокого разрешения, дифрактометр для исследований при высоких давлениях, текстурный дифрактометр) обладают характеристиками на уровне лучших мировых. Общий обзор нейтрографических исследований, ведущихся на импульсных источниках (с акцен-

том на ИБР-2) представлен в работе [13], а на сайте ЛНФ ОИЯИ [20] можно найти сведения обо всех спектрометрах, действующих на ИБР-2 в настоящее время.

Нейтронные специалисты с нетерпением ожидают ввода в строй реактора в Гатчине, что, конечно же, резко улучшит ситуацию с нейтрографией в России. Вокруг ПИКА предполагается объединить европейские исследования по использованию рассеяния нейтронов. Таким образом, в России — с учетом ОИЯИ в Дубне — будут два мощных современных центра, которые в значительной степени удовлетворяют потребности физики конденсированных сред, биологии, химии, материаловедения в нейтрографических исследованиях. ■

Литература

1. *Elsasser W.M.* The diffraction of slow neutrons by crystalline substances // *Comptes rendus. Paris*, 1936. V.202. P.1029—1030.
2. *Fifty Years of Neutron Diffraction* / Ed. G.E.Bacon, Bristol, 1986.
3. *Shull C.G., Wollan C.E., Morton G.A. et al.* // Neutron diffraction studies of NaH and NaD // *Phys. Rev.* 1948. V.73. P.842—847.
4. *Shull C.G., Smart J.S.* // Detection of Antiferromagnetism by Neutron Diffraction // *Phys. Rev.* 1949. V.76. P.1256—1257.
5. *Bacon G.E., Lonsdale K.* Neutron Diffraction // *Rep. Prog. Phys.* 1953. V.16. P.1—61.
6. *Озеров Р.П.* История нейтрографии и тенденции ее развития // *УФН.* 1997. Т.167. С.541—545.
7. *Нейтроны и твёрдое тело* / Под ред. Р.П.Озерова. В 3 т. Т.1: Структурная нейтрография. М., 1979; Т.2: Нейтрография магнетиков, М., 1981; Т.3: Нейтронная спектроскопия. М., 1983.
8. <http://www.psi.ch/sinq/>
9. *Аксенов В.Л.* Пульсирующий ядерный реактор // *Природа.* 1996. №2. С.3—17.
10. <http://ess-scandinavia.eu/>
11. *Brugger R.* We need more intense thermal-neutron beams // *Physics Today.* 1968. V.21. P.23—30.
12. *Rietveld H.M.* A profile refinement method for nuclear and magnetic structures // *J. Appl. Cryst.* 1969. V.2. P.65—71.
13. *Аксенов В.Л., Балагуров А.М.* Времяпролетная нейтронная дифрактометрия // *УФН.* 1996. V.166. P.955—986.
14. *Балагуров А.М., Миронова Г.М.* Нейтрографические исследования в реальном масштабе времени // *Кристаллография.* 1991. Т.36. С.314—325.
15. *Балагуров А.М., Баркалов О.И., Колесников А.И. и др.* Нейтрографическое исследование фазовых превращений метастабильного льда высокого давления VIII // *Письма в ЖЭТФ.* 1991. Т.53. С.30—33.
16. *Козленко Д.П., Савенко Б.Н.* Влияние высокого давления на кристаллическую и магнитную структуру манганитов // *ЭЧАЯ.* 2006. Т.37. С.5—26.
17. *Sheptyakov D.V., Pomjakushin V.Yu., Drozhzhin O.A. et al.* Correlation of chemical coordination and magnetic ordering in $\text{Sr}_3\text{YCo}_4\text{O}_{10.5+\delta}$, $\delta = 0.02$ and 0.26 // *Phys. Rev. B.* 2009. V.80, P.024409 (1—10).
18. *Изюмов Ю.А.* Дифракция нейтронов на длиннопериодических структурах. М., 1987.
19. *Golosovsky I.V., Mirebeau I., Sakbneko V.P. et al.* Evolution of the magnetic phase transition in MnO confined to channel type matrices: Neutron diffraction study // *Phys. Rev. B.* 2005. V.72. P.144409 (1—5).
20. <http://flnp.jinr.ru/>

Тропою лешего

С.Б.Николаева

Правда это было или нет, а только действительно в бассейне озера Имандра в центре Кольского п-ова существует такая сопка-варака, расколота на две части необычным и удивительным ущельем. Лопарское (саамское) предание я тогда не знала, а обнаружила ущелье не случайно. Для проектирования очередного блока Кольской АЭС мы проводили оценку сейсмической опасности территории в долгосрочном аспекте — за последние 10 тыс. лет. С вводом сейсмической станции «Апатиты» в 1956 г. на полуострове начали регулярно регистрировать современные сейсмические события, по большей части слабые. А вот единственным источником получения информации о сильнейших землетрясениях прошлого оставались палеосейсмодиформации — следы древних землетрясений, сохранившиеся в кристаллических породах и рыхлых отложениях. Шел 1990 год.

В то время палеосейсмогеологические исследования еще не получили широкого развития на северо-западе России. Сама мысль о возможных разрушительных землетрясениях, происходивших в недавнем геологическом прошлом на такой спокойной в сейсмическом отношении территории, казалась в то время многим почти фанта-

До советской власти жили по берегам Имандры и рек окрестных лопари. Пасли оленей, ловили рыбу. А однажды... рыба ловиться перестала. Старик-лопарь взял невод и сел в карбас... Дело было к ночи. Не успел он еще отъехать от берега, как по всему озеру пошли большие волны... потом вдруг в воздухе шум сделался... озеро стало тихое-тихое, и сейчас же густо навалилась рыба, омет полон стал. В полночь разбудил лопарей гром на соседней сопке-вараке. Пошли смотреть, что там приключилось. Видят: варака раскололась на две части, посреди дорога образовалась. Это леший проложил себе путь через гору. Ну, конечно, лопари не сомневались — все это проделки нечистой силы: водяного, лешего.

(Народный эпос русских лопарей)



Светлана Борисовна Николаева, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института Кольского научного центра РАН. Круг научных интересов связан с изучением геологии четвертичного периода, неотектоники, палеосейсмологии.

стической, хотя уже были на этот счет и некоторые указания, и единичные исследования [1–3].

Ущелье в озерном краю

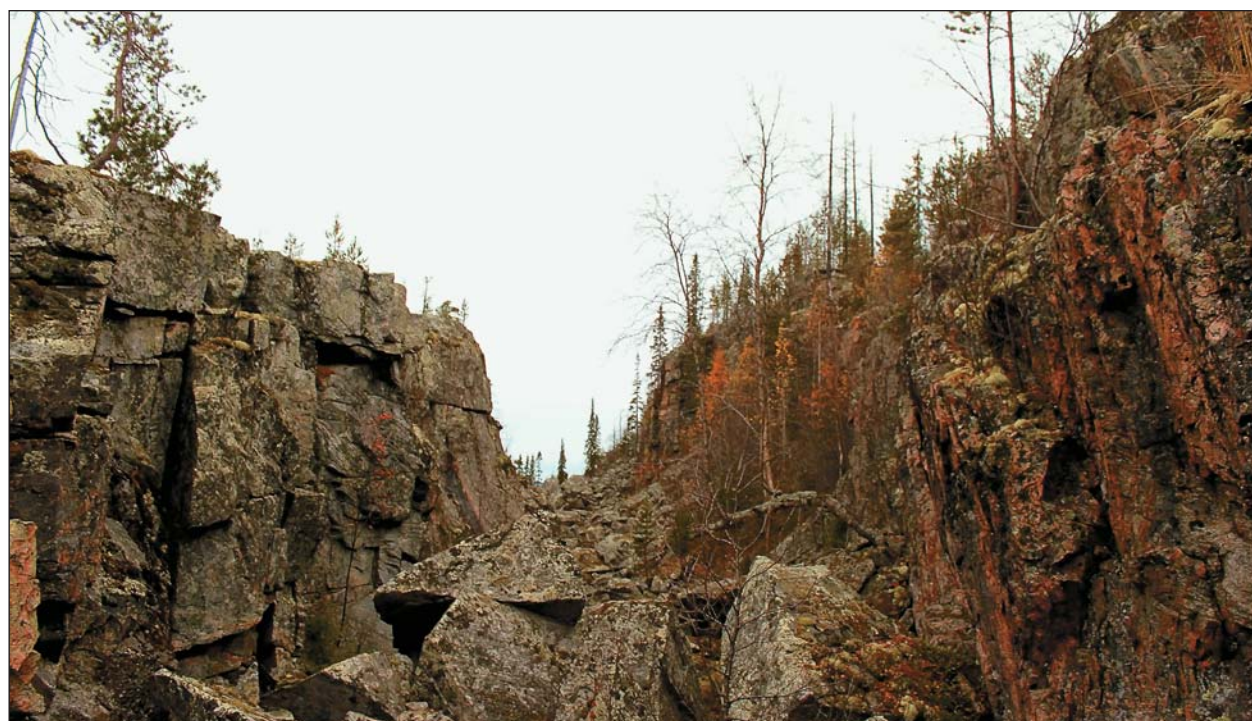
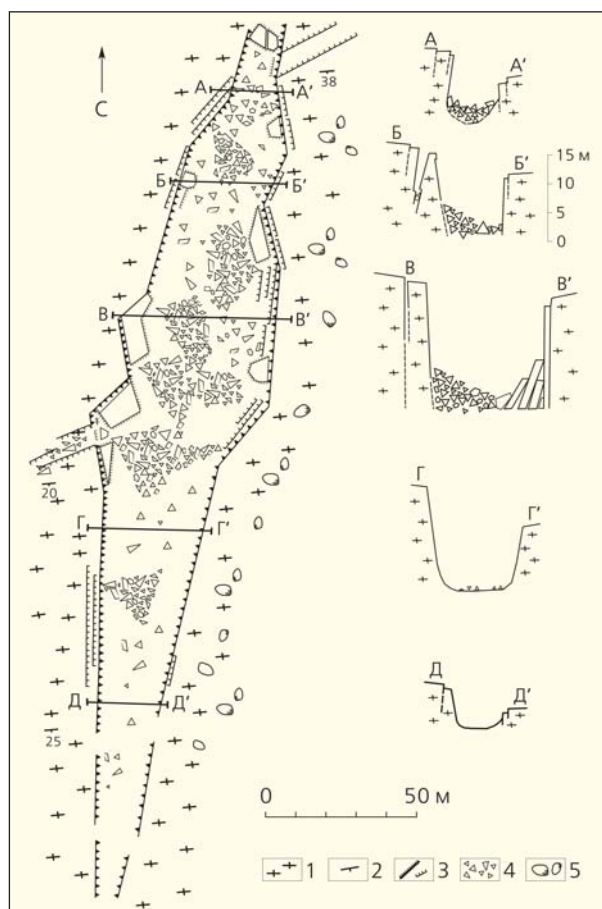
При дешифрировании аэрофотоснимков района Имандровской впадины, вблизи Кольской АЭС было обнаружено ущелье, раскалывающее возвышенность высотой 252.7 м и протяженностью около 0.5 км. Его глубина достигала 27–30 м, а ширина изменялась от 20–40 м в центральной части до 2–3 м у концов. К юго-западу ущелье переходило в трещину зияния в кристаллических породах (шириной 2–4 м и глубиной до 2.5 м). К северо-востоку дислокация проявлялась линейными понижениями в рельефе, цепочками озер и свежими уступами высотой до 2 м. Зона новейшего разрывного нарушения общей протяженностью 5 км простиралась в северо-восточном направлении по азимуту 5–25°.

Геологическое строение района озер Пиренга, Бабинская Имандра и Чунозеро, где развито ущелье, довольно однообразно. Повсеместно распространены древнейшие кристаллические комплексы пород, образовавшихся более 2–2.5 млрд лет назад. Маломощный чехол рыхлых отложений, связанный в основном с деятельностью материковых оледенений, сложен мореной, водно-ледниковыми, коллювиальными и болотными образованиями. Рельеф местности представлен возвышенностями высотой 140–200 м с округлыми вершинами гольцового характера и ступенчатыми склонами, нередко перекрытыми мореной. Лишь отдельные сопки поднимаются



Схема распространения палеосейсмодеформаций в районе озер Бабинская Имандра, Чунозеро, Пиренга. 1 — палеосейсмодеформации в скальных породах; 2 — местоположение ущелья; 3 — предполагаемая очаговая область древних землетрясений; 4 — Кольская АЭС.

Строение сеймотектонического ущелья. 1 — гнейсо-граниты, 2 — элементы залегания пород, 3 — уступы, 4 — глыбы, 5 — валуны.



«Тропа лешего» через гору.

Здесь и далее фото автора



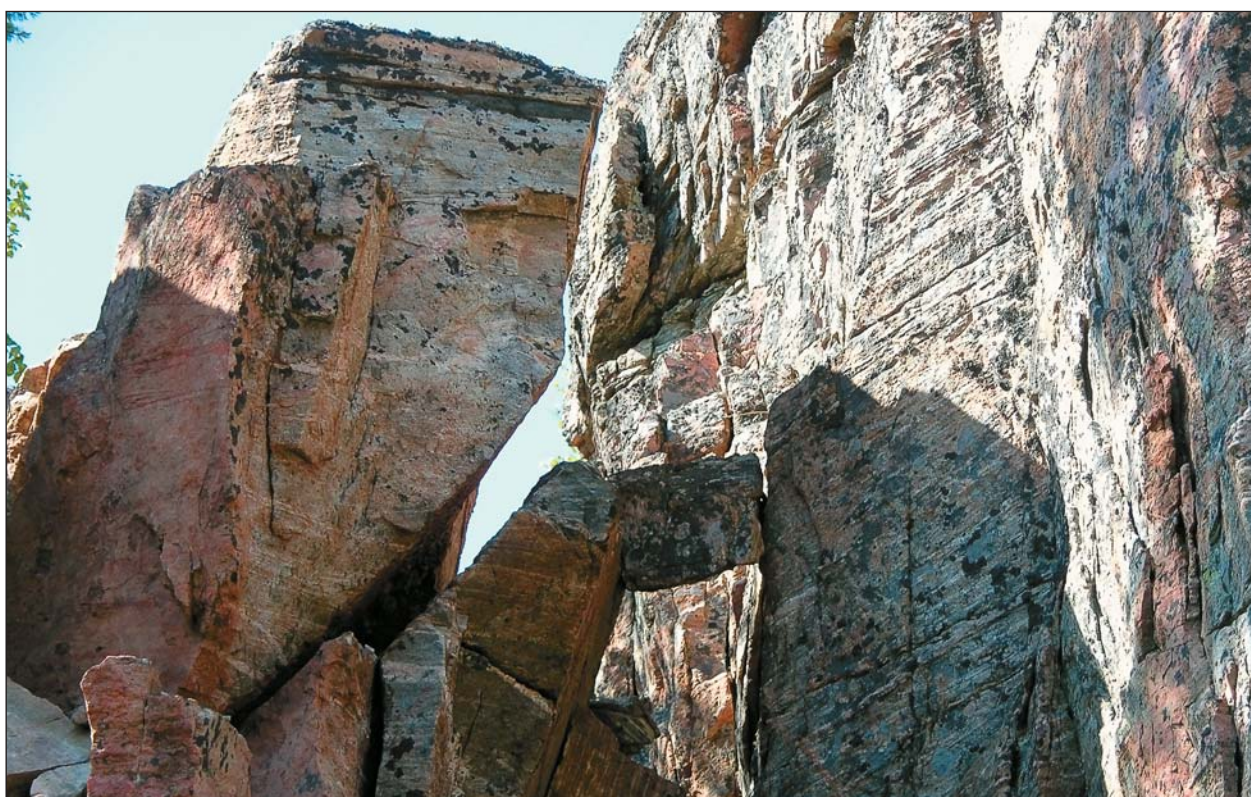
Следы раздробления склона и расщепления скал с образованием крупноглыбовых обвалов. Вид на северо-западный борт ущелья-трещины.



Северо-восточное окончание ущелья-трещины. На заднем плане видны отроги Чуна-тундры.



Скальные блоки (столбы и «перья») в гнейсо-гранитах, отделившиеся по трещинам во время сильного древнего землетрясения от основного тела массива.



Каменные столбы, отделившись от уступа, сохранили близкое к вертикальному положение.



Сеймотектоническая трещина в гнейсо-гранитах на северо-восточном окончании ущелья.

до 300—400 м. Долины и уступы, связанные с тектоническими элементами, следуют в северо-западном и субширотном направлениях.

Узкое, огражденное с двух сторон отвесными скальными обрывами ущелье отчетливо выделяется среди окружающего спокойного ландшафта. Крутые «свежие» стенки, иногда с обратным углом наклона, многочисленные обвалы, развитые у подножия склонов и заполняющие днище котловины, нагромождение огромных глыб создают впечатление скального хаоса. Здесь такое ущелье уникально. Ведь это не сейсмоактивный горный район типа Памира или Тянь-Шаня, а центр Кольского п-ова — озерный район на слабо расчлененной, почти равнинной местности!

Привлекают внимание своим необычным обликом следы дробления на скальных склонах ущелья. На их поверхности встречаются трещины, уходящие в глубь массива, скальные блоки разной формы и размеров. Каменные столбы и «перья» размерами (8—10)×(3—5)×(2—3) м, отделившись от основного уступа, сохранили близкое к вертикальному или наклонное положение. Тыловые трещины отрыва шириной от 10 см до 3,5 м, отчленяющие блоки от скального массива, иногда расширяются кверху.

Как возник скальный хаос

Наши наблюдения показали, что эти каменные столбы отличаются от подобных форм, образованных селективной денудацией. На их гранях и ребрах отсутствуют признаки достаточно глубокого физического выветривания. Они не могли сформироваться и в результате расклинивающего действия делювия на склонах, поскольку его на этих участках нет. Да и трещины отрыва обычно открытые, зияющие. Здесь же расщепление скал и отседание блоков произошло настолько быстро, что трещины отрыва не успели заполниться осыпным материалом (как это бывает при медленном гравитационном процессе). Скорее всего, причиной образования отдельных блоков и их перемещения был сейсмический толчок (возможно, с вертикальной составляющей). Подобные столбы отседания, развитые на приозерном склоне Приморского хребта в пределах Краснояровской сейсмогенной структуры в архейских гнейсах Прибайкалья, связывают с 9—10-балльными землетрясениями [4], а похожие формы, распространенные в архейских гранитах по бортам Ладожского грабена, — с 8—9- и 9-балльными [5].

Не менее примечательное явление, обнаруженное при обследовании ущелья, — выколы (подколы) в бортах в виде ниш с выдвинутыми или выпавшими блоками. Одна из таких ниш расположена в северо-восточном борту ущелья на высоте 2 м. Она представляет собой пустую полость глубиной 0,49 м в виде неправильного прямоугольника со сторонами 0,38×0,55×0,48×0,63 м, ограниченного субвертикальными и субгоризонтальными стенками. Сходный по конфигурации и размерам с самой нишей, блок перемещен от нее на расстоянии 2,1 м. Выпадение и перемещение блоков пород из ниши не могло произойти в результате гравитации, так как нижняя площадка горизонтальна. Объяснить такие явления можно только дополнительным толчком — сильным боковым сейсмическим импульсом [6].

Вдоль бортов ущелья наблюдаются многочисленные обвалы обрушения и сбросо-обвалы скальных пород. Они отличаются от коллювиальных осей большими размерами глыб, несортированными обломками, приуроченностью к стенкам срыва в бортах ущелья. В обвалах нередко встречаются заклиненные сверху остроугольные глыбы, а некоторые обломки «прибиты» и «прижаты» к противоположному борту ущелья, что может свидетельствовать о силе и скорости обрушения бортов. Еще одна характерная черта обвалов — одинаковая степень выветрелости и зарастания лишайником глыб из разных вывалов, что предполагает их одновременное образование. Трудно себе представить, что на протяжении около полукилометра в один момент произошло обрушение склонов, вызванное только процессами гравитации. Скорее всего, здесь не обошлось без сейсмо-

гравитационных процессов. Обрушение скальных пород с образованием обвальных масс происходит только вблизи сейсмогенерирующих разломов и сопровождающих их зон дробления при землетрясениях с интенсивностью $\geq 5-6$ баллов [7].

В местности, примыкающей к разрывному нарушению, на поверхности сопки и прилегающих к ней пологих склонах также видны многочисленные следы дробления кристаллических пород. По таким зияющим трещинам, иногда неровным, свежим, произошли отрыв (раздвиг) и смещение блоков, а также близгоризонтальное выдвигание на расстояние 20–40 см от основного массива небольших блочков. Ширина трещин составляет от 10 до 65 см, а глубина достигает 1.5–2 м. В литературе эти явления связывают с процессами морозного выветривания — разрушением горных пород в результате периодического замерзания попадающей в трещины воды [8]. Однако на некоторых близгоризонтальных участках отдельные глыбы составляют в единое целое. Получается, что они взброшены вверх. Это также свидетельствует в пользу их сейсмического происхождения. К тому же случаи выброса глыб (обломков скальных пород) в воздух и вбок при сильных землетрясениях вблизи их эпицентров — явления вполне реальные. Они наблюдались, например, в эпицентральной области Рачинского землетрясения ($M = 7.1, I = 9$) в горах Кавказа и при других сильных современных землетрясениях [9].

Таким образом, все вышеперечисленные признаки свидетельствуют о том, что данное ущелье представляет собой палеосейсмодеформацию и возникло в результате сильного землетрясения.

В тектоническом отношении это сброс, юго-восточное крыло которого опущено. Видимая вертикальная амплитуда смещения составляет 6 м. Сила землетрясений, создавших такую структуру, пусть даже не в один этап, должна быть значительной, а вторичные нарушения могли происходить при 9–10-балльном землетрясении. Параметры обвалов, смещение блоков пород, образование выколов, трещин, а также сравнение с существующими на сегодняшний день макросейсмическими шкалами подтверждают наши выводы [10]. Аналогичные формы рельефа (ущелья трещинного типа, расщелины) образовались в результате землетрясений с интенсивностью 9–10 баллов в районе Иволгиных грабенов Забайкалья и на северо-западе Кавказа [4, 11].

Когда же произошло землетрясение?

А случилось такое событие уже после валдайского оледенения, около 10 тыс. лет назад. Отсутствие на дне окатанного ледникового материала, а также следов ледниковой и водно-ледниковой деятельности на бортах ущелья подтверждают его

последнеледниковое образование. Детальные наблюдения за направлением смещения блоковых отбросов, обвалов и вывалов убеждают в реальности нескольких разновозрастных сильных сейсмических импульсов. Один из них относится к раннему голоцену, но точно пока не датирован. Возраст другого определяется по нескольким радиоуглеродным датировкам торфяных слоев в ближайших к ущелью пунктах. С высокой вероятностью он составляет 2550 ± 150 календарных лет, т.е. землетрясение возникло в позднем голоцене [12].

Тут как раз уместно вспомнить о лопарском предании про «тропу лешего» [13]. Необычные и, видимо, редкие сейсмические события не могли не произвести на местное население глубокого впечатления и не сохраниться в народной памяти. Это и раскол сопки-вараки, и шум, предшествующий землетрясению. Запись сделана в июне 1912 г. со слов лопаря Василия Бархатова [13], а событие, по всей видимости, относится к XIX в. Впервые забытое лопарское предание идентифицировал как отражение сейсмического события и предварительно датировал А.А.Никонов [14].

Землетрясения здесь случались...

Это не единственная «тропа лешего» в тихом озерном районе. Не такие уникальные, но не менее впечатляющие элементы ландшафта, выраженные в рельефе рвами, грабенообразными просадками, расщелинами, которые несут признаки сейсмогенного образования, были выявлены как в непосредственной близости от ущелья, так и к юго-западу от него [15]. Пространственное расположение локальных разрывов указывает на эпицентр древнего землетрясения, находившийся, вероятнее всего, в районе озер Экостровская и Бабинская Имандра. Широкое развитие активных блоковых смещений на низких террасах в центральной части котловины оз. Бабинская Имандра в последнеледниковое время косвенно подтверждает вероятность сильных сейсмических событий именно здесь [16].

В северной части горного массива Чуна-тундры, расположенного к северу от обследованного нами участка, известный натуралист О.И.Семенов-Тянь-Шанский отметил необычный облик еще одного — Воронова — ущелья: «...с колоссальными обломками скал, загромаждающими дно, которые делают его труднопроходимым» [17. С.30]. К югу от него, между гор Эббер-джорр и Райнен-джорр (Межевая гора), расположена плоская седловина, которая, по сообщению Г.Д.Рихтера, «на востоке обрывается почти отвесной стеной в глубокое ущелье Лемм-Щель, разделяющее восточные части этих двух вершин. Дно ущелья, лежащее на высоте 350 м над уровнем Имандры, сплошь завалено огромными угловатыми глыбами гранито-гнейсов, образующими у вы-

хода из ущелья мощную, в десяток метров, преграду. Это полузакрытое ущелье по своим формам очень напоминает многие хибинские ущелья и, по-видимому, представляет собой тектоническую трещину, несколько расширенную деятельностью морозного выветривания благодаря летающим здесь ежегодно снежникам» [18. С.47]. Необычные природные объекты в ту пору ни Рихтер, ни Семенов-Тянь-Шанский не связывали с сейсмическими событиями. Значительно позднее, в 1967 г., Н.И.Николаев первым высказал предположение о происхождении ряда ущелий в Хибинских горах в результате сильных (интенсивностью до 10 баллов) землетрясений [1].

Косвенные указания на сейсмические события содержатся не только в народном эпосе лопарей, но и в географических названиях Русской Лапландии. Слово «лувве» («луввед») по-саамски означает «встряхнуть», а в названиях «Лувенгские тундры,

река Лувеньга, Лувенгские озера запечатлены грозные явления природы — землетрясения» [19]. Не только в окрестностях Лувенгских озер, но и на побережьях Баренцева и Белого морей, в районах Кольского фиорда, на Хибинском горном массиве стали появляться сведения о палеосейсмодеформациях, свидетельствующих о сильных сейсмических событиях, которые происходили там несколько тысяч лет назад [14, 20, 21].

Выразительные рвы в кристаллических породах, грандиозные скальные обвалы, каменные руины, своеобразные ущелья и расщелины, возникшие в результате древних землетрясений, представляют собой не только объекты научного изучения и наблюдения за современными опасными процессами, но и ландшафтные феномены, природные геологические и геоморфологические памятники, привлекательные для многочисленных туристов. ■

Литература

1. Николаев Н.И. Неотектоника и сейсмичность Восточно-Европейской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1967. №2. С.13—27.
2. Lagerback R. Late Quaternary faulting and paleoseismicity in northern Fennoscandia, with particular reference to the Lansjarv area, northern Sweden // Geologiska Foreningens i Stockholm Forhandlingar. 1990. V.112. №4. P.333—354.
3. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры. М., 1977.
4. Хромовских В.С. Сейсмогеология Южного Прибайкалья. М., 1965.
5. Никонов А.А. Сейсмогравитационные склоновые нарушения в Северном Приладожье // Сортавальский краеведческий сборник. Вып.2. Материалы II Международной научно-практической краеведческой конференции. Петрозаводск, 2008. С.7—25.
6. Никонов А.А. Терминология и классификация сейсмогенных нарушений рельефа // Геоморфология. 1995. №1. С.4—10.
7. Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья. М., 1966.
8. Мельников В.П., Спесивцев В.И. Криогенные образования в литосфере Земли. Новосибирск, 2000.
9. Никонов А.А. Явление выброса грунтов и предметов при сильных землетрясениях // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.34. М., 1993. С.115—123.
10. Шебалин Н.В., Антикаев Ф.Ф. Развитие шкал типа MSK // Вычислительная сейсмология. Вып.34. М., 2003. С.210—253.
11. Хромовских В.С., Солоненко В.П. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М., 1978.
12. Николаева С.Б., Никонов А.А., Шварев С.В. Детальные палеосейсмогеологические исследования на ключевом участке в бортовой зоне впадины оз.Имандра (Европейское заполярье) — новые подходы и результаты // М-лы международной конференции «Геоморфология и четвертичная палеогеография полярных регионов», 9—17 сентября 2012 г. СПб., 2012 (в печати).
13. Народный эпос русских лопарей: Материалы / Собр. В.Ю.Визе // Изв. Арханг. общества изучения Русского Севера. 1917. №1. С.15—24.
14. Никонов А.А. Мирный атом совокупился с нечистой силой // Знание — сила. 2004. №11. С.56—63.
15. Николаева С.Б. Палеосейсмические проявления в северо-восточной части Балтийского щита и их геолого-тектоническая позиция // Геоморфология. 2001. №4. С.66—74.
16. Шварев С.В. Послеледниковые тектонические движения и формирование террас озера Имандра (Кольский полуостров) // Геоморфология. 2003. №4. С.97—104.
17. Семенов-Тянь-Шанский О.И. Лапландский заповедник. Мурманск, 1975. С.30.
18. Рихтер Г.Д. Физико-географический очерк озера Имандры и его бассейна. Вып.5. Л., 1934. С.47.
19. Минкин А.А. Топонимы Мурманска. Мурманск, 1976.
20. Николаева С.Б. Следы разрушительных землетрясений в окрестностях города Мурманска (по историческим и палеосейсмогеологическим данным) // Вулканология и сейсмология. 2008. №3. С.52—61.
21. Шевченко Н.В., Кузнецов Д.Е., Ермолов А.А. Сейсмотектонические проявления в рельефе берегов Белого моря // Вестник Моск. ун-та. Сер.5. География. 2007. №3. С.44—48.

Как предсказать неизвестную структуру белка



Если геном — это список инструментов в оркестре, то протеом — это оркестр, играющий симфонию.

Р.Симпсон

А.В.Попинако, О.С.Соколова

Современная молекулярная биология стремительно расширяет круг знаний, область интересов перемещается от одиночных молекул к более сложным молекулярным машинам, растет потребность в структурной информации о комплексах нанобиообъектов. Прошлый век стал свидетелем революционного прорыва в биологии. Обнаружение совершенно нового мира с его неожиданными явлениями — событие редкое для современной науки. Расшифровка генома дала огромную статистическую информацию о потенциальной жизни конкретного организма. Однако по сравнению с количеством прочтенных пар оснований количество известных структур белков ничтожно. До сих пор в базах данных остаются неизвестными функции множества белков. Сегодня, после расшифровки генома, основной задачей исследователей стало подробное изучение протеома — совокупности всех белков организма.

Исследование протеома чем-то напоминает разгадывание древних текстов: буквы известны, но как толковать письма? Разгадать тайный смысл этих вечных текстов и помогают структурные исследования. Открытый доступ к полной информации о геномных последовательностях переориентировал направление научных исследований в биологии. Знание структуры каждого конкретного



Анна Владимировна Попинако, аспирант кафедры биоинженерии биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — протеомика и биоинформатика.



Ольга Сергеевна Соколова, кандидат биологических наук, доцент той же кафедры. Занимается электронной микроскопией и структурной биологией.

белка позволяет понять механизм его функционирования и взаимодействия с другими молекулами.

Соотнесение структур белков с продуктами определенных генов — первый шаг к пониманию того, каким образом организмы реализуют свою геномную информацию. При переходе к белковым структурам остается позади «одномерность» нуклеотидных и аминокислотных последовательностей — открывается трехмерный (3D) мир пространственных молекулярных структур.

В настоящее время для получения 3D-структур белковых молекул широко используются методы ядерного магнитного резонанса (ЯМР), спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. К 2012 г. в мире расшифровано более 70 тыс. атомных структур белков, в их числе аквапорины, рибосомальные субъединицы, РНК- и ДНК-полимеразы и др., но для многих белков их четвертичная структура неизвестна: ионные каналы, транспортеры, крупные мультидоменные комплексы с трудом поддаются кристаллизации.

Для получения полной структурной информации о неизвестном белке (когда определена только последовательность нуклеотидов)

© Попинако А.В., Соколова О.С., 2012

приходится решать уравнение с двумя, а то и тремя неизвестными. Какие же методы существуют для определения третичной и четвертичной структур?

Моделирование по гомологии

Сама по себе аминокислотная последовательность еще мало о чем говорит, вот две гомологичные последовательности уже что-то нащепывают, ну а когда их много, они орут востор!
А.Леск

Эволюция белковых структур идет таким образом, что для произвольного белка существует лишь единственный — термодинамически наиболее выгодный (нативный) — способ укладки основной цепи. Но мутации ДНК часто порождают изменчивость в белковой структуре и функциях, что сказывается на жизнеспособности организма и, соответственно, в естественном отборе.

Вариации аминокислотных замен в гомологичных белках показывают, как структура приспосабливается к изменениям. Остатки на поверхности белка, не влияющие на его функцию, свободно мутируют. Механизмы, стабилизирующие структуру белка, ограничивают конформационные изменения, а функциональные требования накладывают дополнительные ограничения на структурные искажения. Таким образом, семейства родственных белков имеют тенденцию к сохранению общих

паттернов укладки. Поиск гомологий — это мост между аминокислотной последовательностью и функцией. Сегодня уже известны многие (но еще не все) способы укладки белков (фолды), поэтому предсказание структуры белка, основанное на сходстве с уже известными структурами, весьма продуктивно. Такой подход называется моделированием структуры по гомологии.

Рассмотрим, к примеру, кодируемый 18-й хромосомой человека белок FHOD3, для которого известна только аминокислотная последовательность. С помощью программы SWISS-MODEL в базе структурных данных (pdb.org) удалось найти родственников этого белка — гомологов с известной структурой. Ими оказались эукариотические формины mDia1, mDia2, Bni1, Daam1, которые инициируют и пролонгируют рост актиновых филаментов [1, 2]. Предполагается, что в клетке большинство форминнов находятся в автоингибированном состоянии и не могут спонтанно регулировать образование надмолекулярных структур актиновых филаментов. Активность форминнов блокируется за счет N-концевого DID-домена, который напрямую взаимодействует с DAD-доменом, находящимся на C-конце молекулы [3]. Отдельные фрагменты молекулы формина (C-концевой FH2-домен и N-концевой DID-домен) получены в кристаллическом состоянии [4, 5], но до настоящего времени информации о структуре целого белка и его конформационных перестройках при активации нет.

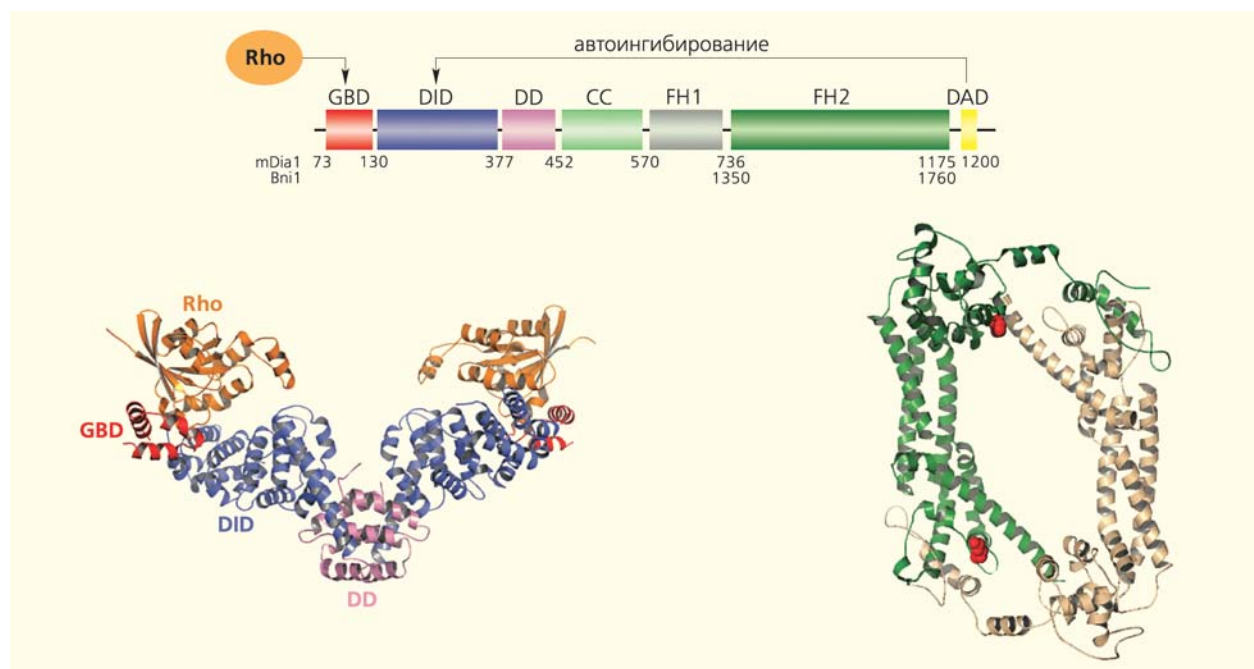


Рис.1. Схема доменной структуры мономера формина mDia (вверху); отмечены домены DAD, FH1, FH2, спиральный участок CC, домены DD, DID и домен, ответственный за связывание ГТФазы (GBD). Стрелка показывает взаимодействие доменов DD-DID-GBD в димерном формине. Внизу слева — предполагаемая ориентация мономеров в димерном формине. Каждый мономер связан с активатором ГТФазой (Rho). Отмечены также домены GBD, DID и DD. Внизу справа — кристаллическая структура C-концевого димера доменов FH2 [2].

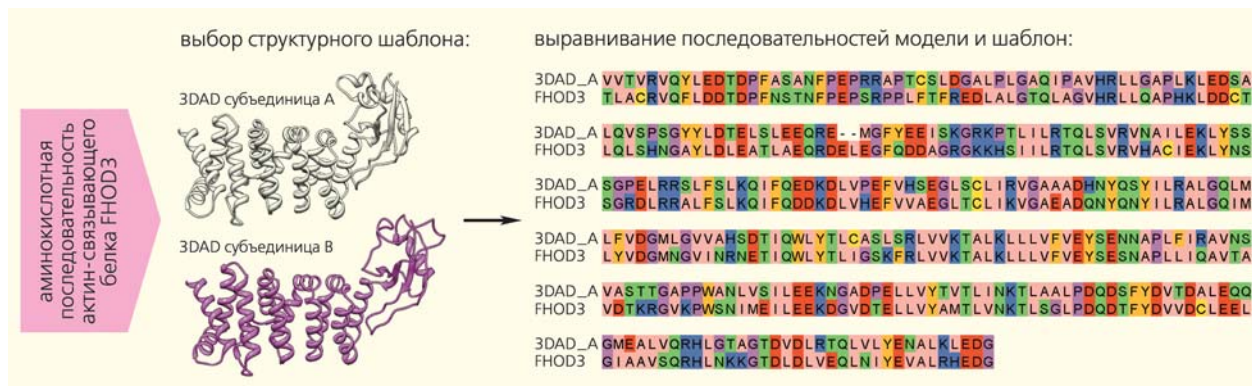


Рис.2. Выравнивание гомологичных последовательностей.

Основой для моделирования стала структура формина 3DAD — DID-домен субъединицы А (рис.1) с наибольшим процентом схожести. Известно, что полнота и качество модели зависят от схожести последовательностей. Если последовательности родственных белков схожи на 50%, то их конформация аналогична с вероятностью 90% [6].

Моделирование по гомологии начинается с выравнивания аминокислотных последовательностей шаблона и модели (рис.2). Мы проводили его с помощью программы T-COFFEE [7] и подтвердили высокую степень гомологии между фрагментами последовательностей формина и FHOD3: она составила 63.5%.

Для непосредственного моделирования по гомологии мы использовали программу MODELLER [8]. Построение гомологичной модели заключается в «натягивании» первичной последовательности моделируемого белка на трехмерный «остов» шаблона согласно исходному выравниванию. Наша программа построила десять 3D-моделей N-концевого домена белка FHOD3, среди которых мы выбрали одну — с наименьшим значением энергетической характеристики (рис.3). Поскольку мо-

дель, построенная по шаблону-структуре, имела высокое разрешение (2.3 Å) и большую степень гомологии, содержащую в ней информацию о пространственном расположении функционально важных аминокислотных остатков в белке можно использовать для проектирования новых экспериментов. Оптимизированная модель формина FHOD3 участвовала в дальнейших компьютерных исследованиях. В частности, методом молекулярной динамики изучалось взаимодействие гомологичных доменов белка FHOD3 (модели) и формина mDia1 (структуры) с C-концевым DAD-доменом формина и активатором Rho. Обе системы показали схожий характер взаимодействия. Дизайн точечной мутации DID-домена белка FHOD3 (модели) подтвердил роль некоторых заряженных аминокислотных остатков в связывании с Rho. Эти результаты доказывают пригодность полученной модели для структурных исследований.

Таким образом, метод моделирования по гомологии весьма полезен при изучении структуры и функции белка, его динамики, взаимодействия с лигандами и другими белками, а также при создании лекарственных препаратов.

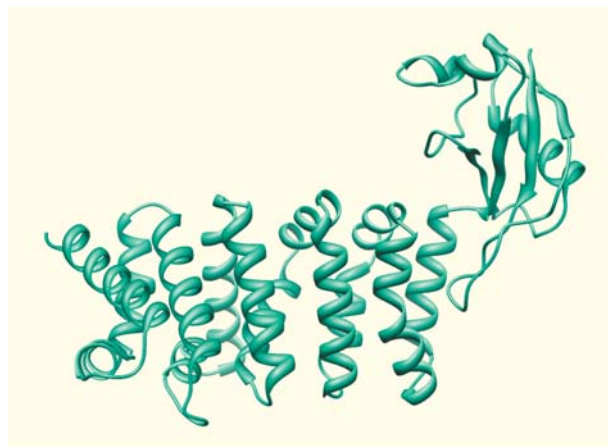


Рис.3. Финальная модель N-концевого домена белка FHOD3.

Электронная микроскопия

Мы не должны обижаться на тех ученых, которые вначале не поверили в электронный микроскоп.
Э.Руска. Нобелевская лекция. 1986 г.

В последнее десятилетие просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) превратилась в полноправный метод, применяемый в структурной биологии. Это стало возможным в связи со значительным улучшением методик электронной микроскопии и повышением возможностей компьютеров, применяемых для расчетов трехмерных структур. Рассмотрим, какие принципы лежат в основе формирования электронно-микроскопического изображения.

Пучок ускоренных электронов, сформированный осветительной системой микроскопа, взаи-



Рис.4. Распределение энергии пучка ускоренных электронов, прошедшего сквозь пленочный объект, и возникающие при этом вторичные излучения.

модействует с исследуемым объектом. Некоторые электроны, проходя через вещество объекта, рассеиваются, т.е. меняют свои траектории (рис.4), а в результате и амплитуды и фазы электронных волновых функций. Линза объектива собирает прошедшие через образец электроны в плоскости изображения, где формируется картина, которая содержит искомую информацию о структуре объекта.

Реконструкция трехмерной структуры биомолекул становится возможной, потому что на препарате молекулярные комплексы находятся в виде изолированных частиц, как правило, отличающихся своей ориентацией. В процессе реконструкции множественные изображения отдельных идентичных наночастиц, полученные с помощью электронного микроскопа, подвергаются компьютерной обработке и классифицируются. В итоге, используя специальные алгоритмы, рассчитывают трехмерную структуру исходной молекулы. Изображений большого количества молекул в разных ориентациях бывает достаточно для получения трехмерной структуры с молекулярным разрешением. Обычно для этого хватает небольшого количества микрофотографий — при условии, что на одной из них содержится около 500 частиц.

Мы изучали трехмерное строение молекулы формина mDia1. Для микроскопии применили негативное контрастирование образцов водным раствором уранилацетата. Суть метода контрастирования состоит в том, что на сетку с подложкой, содержащей нанесенные исследуемые частицы, капает раствор электронноплотного вещества (контрастер). Он равномерно заливает всю площадь подложки, кроме микроучастков, заня-

тых частицами, которые выглядят светлыми на темном фоне (отсюда и название метода). В результате контрастирования электроны больше рассеиваются в области сосредоточения контрастера, а не образца.

Изображения получали в Центре коллективного пользования Института кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН на электронном микроскопе FEI Tecnai G2 Spirit с ускоряющим напряжением 120 кВ в условиях низкой дозы облучения (для предотвращения повреждения образцов под воздействием электронного пучка). На углеродной подложке молекулы формина находились в различных ориентациях, что позволило использовать для получения трехмерных реконструкций «метод обратных проекций» [9]. Одиночные изображения mDia1 с микрофотографий собирались на компьютере в полуавтоматическом режиме по программе Signature [10]. Шаблоном служила вращательная сумма небольшого набора одиночных изображений, выбранных вручную. Последующая обработка в программе IMAGIC-5 [11] позволила отфильтровать изображения отдельных молекул от шума и выровнять относительно общей суммы каждого изображения путем их перемещения и вращения.

Выровненные изображения были разбиты на классы: в один из них вошли несколько десятков изображений молекул, имеющих одинаковую ориентацию. Классы лучшего качества (рис.5,а), включающие большее количество изображений, использовались далее для построения угловой реконструкции (рис.5,б), а полученные в дальнейшем обратные проекции — для оценки корректности построения реконструкции (рис.5,в). Для этого рассчитывалась корреляция между классами, используемыми для реконструкции, и соответствующими обратными проекциями. В описываемом случае ошибка реконструкции составила 3%.

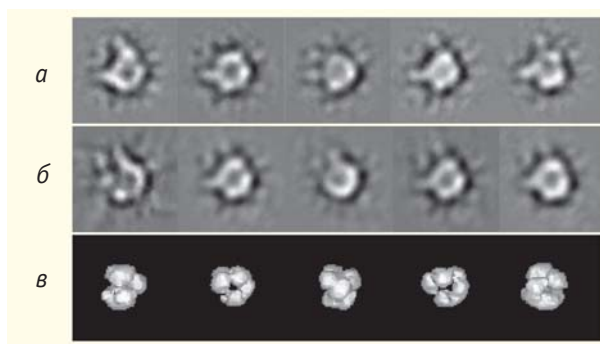


Рис.5. Реконструкция трехмерной структуры формина mDia1: а — избранные классы, полученные усреднением нескольких десятков одинаковых проекций; б — репроекции трехмерной структуры в тех же ориентациях, что и классы; в — трехмерная реконструкция в соответствующих ориентациях.

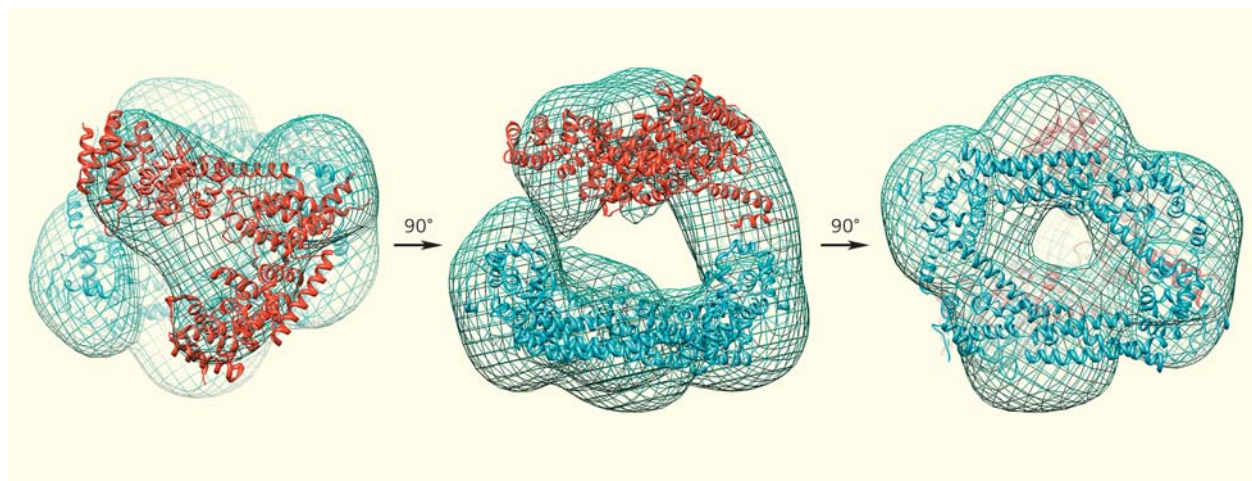


Рис.6. Трехмерная модель формина mDia1, отображенная в виде сетки с шагом 1 Å. Слева направо: вид сверху, вид сбоку и вид снизу. В верхнюю часть реконструкции проведен докинг кристаллической структуры N-концевого димера (красный цвет), в нижнюю — С-концевого димера (голубой цвет).

В ходе обработки данных на основе срезов на разном уровне объемной модели рассчитали трехмерное изображение поверхности структуры (рис.6). Итоговые 3D-структуры скорректировали согласно частотно-контрастной характеристике электронного микроскопа, используя программу FREALIGN [12]. Значительное улучшение изображений получили после 10 итераций, а затем рассчитали финальную структуру. Визуализацию и измерение полученных структур проводили с помощью программы UCSF Chimera [13]. Трехмерные структуры отображались в виде сетки, шаг которой соответствовал 1 пикселю. Выяснилось, что структура формина mDia1 образована двумя слоями: на верхнем в виде «вилки», а на нижнем — как кольцевая (рис.6).

Для дальнейших структурных исследований необходимо оценить разрешение полученной структуры. Для этого, как правило, весь массив данных разбивают на две части (например, в одной все четные частицы, а в другой — все нечетные). Затем для каждого массива рассчитывают независимую реконструкцию и с помощью объемного критерия Фурье находят корреляцию между реконструкциями [14]. Разрешение, при котором коэффициент корреляции равен 0.5, и есть искомое разрешение структуры. Существуют также другие критерии оценки разрешения, например 3σ и 5σ . Они показывают разрешение, при котором собрано достаточно данных, которые соответственно в три или пять раз превышают уровень фона.

При расчете трехмерной структуры формина разрешение реконструкции было 2.5 нм. По сравнению с атомным (0.1–0.3 нм) оно может считаться низким, но, тем не менее, позволяет делать структурные выводы о взаимодействии с лигандами, об олигомерном состоянии белка и его конформационных перестройках.

Интерпретация структуры

Уравнение может иметь как одно-единственное решение, так и бесконечное множество решений.
БСЭ

Следующий этап в исследовании неизвестной структуры — совмещение данных, полученных различными методами: данные ПЭМ комбинируются с данными рентгеноструктурного анализа или (при отсутствии атомной структуры) с данными молекулярного моделирования по гомологии. Обычно для интерпретации трехмерной структуры используют метод докинга, в основе которого лежит принцип взаимной корреляции. Докинг можно проводить вручную, с помощью программ для трехмерной визуализации наночастиц (например, UCSF Chimera [13]), или автоматически (программа Situs [15]).

Для интерпретации полученной нами трехмерной структуры формина с разрешением 2.5 нм мы использовали находящиеся в базе данных pdb.org кристаллические структуры N- и С-концевых димеров этой молекулы [4, 5]. Проводили автоматический докинг кристаллических структур в электронную плотность с помощью программы Situs [15] и рассчитывали коэффициенты корреляции для докинга N-концевого димера в область «вилки» ($R = 0.69$) и С-концевого димера в область «кольца» ($R = 0.8$). Оказалось, что полученная трехмерная реконструкция может вместить не более двух N- и двух С-концевых доменов (рис.6). Значит, полноразмерный формин — димер. Наши исследования также подтвердили гипотезу, что полноразмерный формин находится в ингибированной конформации, когда актинсвязывающие сайты С-концевого домена (на вогнутой поверхности «кольца») перекрываются N-концевым доменом. Следовательно, автоингибирование формина имеет стерическую природу.

Для структур с более высоким разрешением применяют молекулярно-динамический метод «гибкой подгонки» (flexible fitting) [16]. Он основан на добавлении внешних сил пропорционально градиенту электронной плотности трехмерной структуры в процессе молекулярной динамики атомной структуры. С помощью гибкой подгонки можно уточнить четвертичную структуру молекулы, сравнив ее кристаллическую структуру с таковой в растворе.

Итак, чем выше качество модели белковой молекулы, тем шире область ее использования для разработки новых лекарств, виртуального скрининга, докинга лигандов. Но насколько верны результаты структурных исследований, которые уже сегодня находят широкое применение? Мы узнаем об этом в ближайшее время, когда появятся еще более точные методы изучения структуры макромолекул. Уравнение жизни имеет бесконечное множество решений. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 08-04-91759 и 08-04-91125) и Минобрнауки (ГК №16.740.11.0373).

Литература

1. Faix J., Grosse R. Staying in shape with formins // *Dev. Cell.* 2006. V.10. P.693–706.
2. Goode B.L., Eck M.J. Mechanism and function of formins in the control of actin assembly // *Annu. Rev. Biochem.* 2007. V.76. P.593–627.
3. Moseley J.B., Sagot I., Manning A.L. et al. A conserved mechanism for Bni1- and mDia1-induced actin assembly and dual regulation of Bni1 by Bud6 and profilin // *Mol. Biol. Cell.* 2004. V.15. P.896–907.
4. Xu Y., Moseley J.B., Sagot I. et al. Crystal structures of a Formin Homology-2 domain reveal a tethered dimer architecture // *Cell.* 2004. V.116. P.711–723.
5. Otomo T., Tomchick D.R., Otomo C. et al. Structural basis of actin filament nucleation and processive capping by a formin homology 2 domain // *Nature.* 2005. V.433. P.488–494.
6. Леск А. Введение в биоинформатику. М., 2009.
7. Cüdric Notredame, Desmond G. Higgins, Jaap Heringa. T-coffee: a novel method for fast and accurate multiple sequence alignment // *Journal of Molecular Biology.* 2000. V.302. №1. P.205–217.
8. Modeller N., Eswar M.A., Marti-Renom B. et al. Comparative protein structure modeling with modeller // *Current Protocols in Bioinformatics*, John Wiley & Sons, Inc., Supplement 15, 5.6.1–5.6.30, 2006.
9. Heel M.van. Angular reconstitution: A posteriori assignment of projection directions for 3D reconstruction // *Ultramicroscopy.* 1987. V.21. P.111–123.
10. Chen J.Z., Grigorieff N. Signature: A single-particle selection system for molecular electron microscopy // *J. Struct. Biol.* 2007. V.157. P.168–173.
11. Van Heel M., Harauz G., Orlova E.V. et al. A new generation of the IMAGIC image processing system // *J. Struct. Biol.* 1996. V.116. №1. P.17–24.
12. Grigorieff N. FREALIGN: High-resolution refinement of single particle structures // *J. Struct. Biol.* 2007. V.157. P.117–125.
13. Pettersen E.F., Goddard T.D., Huang C.C. et al. UCSF Chimera — a visualization system for exploratory research and analysis // *J. Comput. Chem.* 2004. V.25. P.1605–1612.
14. Harauz G., Heel M.van. Exact filters for general geometry three dimensional reconstruction // *Optik.* 1986. V.73. P.146–156.
15. Wriggers W. Using situs for the integration of multi-resolution structures // *Biophysical Reviews.* 2010. V.2. P.21–27.
16. Yassin A.S., Agrawal R.K., Banavali N.K. Computational exploration of structural hypotheses for an additional sequence in a mammalian mitochondrial protein // *PLoS One.* 2011. V.6. P.e21771.

Лорд Кельвин, пивная пена, «ячейки Коксетера» и лавинная опасность



Ю.Л.Войтеховский

Люблю в выходной день ходить в Хибинь, всякий раз щедро дарящие удивительные ландшафты, очаровательный растительный и животный мир, редкие минералы, глубокое удовлетворение от пройденного перевала или покоренной вершины и... новые задачи. Вот одна из них.

3 сентября 2011 г. была замечательная погода, и мы с коллегой без происшествий прошли перевалы Северный и Южный Рисчорр с выходом на пик Марченко и гору Куэльпорр. Маршрут хорошо известен горным туристам. Один из самых интересных объектов на маршруте — снежник-перелеток в глубоко врезанном ущелье на Северном Рисчорре, куда не проникают прямые лучи солнца. В разрезе снежника можно наблюдать замечательный переход от фирна до перекристаллизованного льда — интересный объект для гляциолога.

Вы обращали внимание на ячеистые поверхности снежников? Полагаю, они есть на всех снежниках мира, поскольку обусловлены неспецифическим явлением таяния приповерхностного слоя. В первом приближении ячейки полигональны, но число их сторон варьирует, размеры — тоже. По всему видно, что свою роль здесь сыграл случай. Видимо, тому причи-



Юрий Леонидович Войтеховский, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Геологического института Кольского научного центра РАН. Основные научные интересы связаны с математическими исследованиями на стыке кристаллографии, минералогии, биологии. Член Союза журналистов РФ. Трижды побеждал в конкурсах научно-популярных статей РФФИ.

ной — различная степень загрязнения снега пылью, переносимой ветром с залегающих вблизи россыпей рисчорритов. Эти горные породы — разновидность нефелиновых сиенитов, названных по имени горы Рисчорр в далеких 1920-х годах первооткрывателями Хибин. Еще один вопрос: есть ли в этой ячеистой структуре закономерность? Но не будем торопиться с ответом...

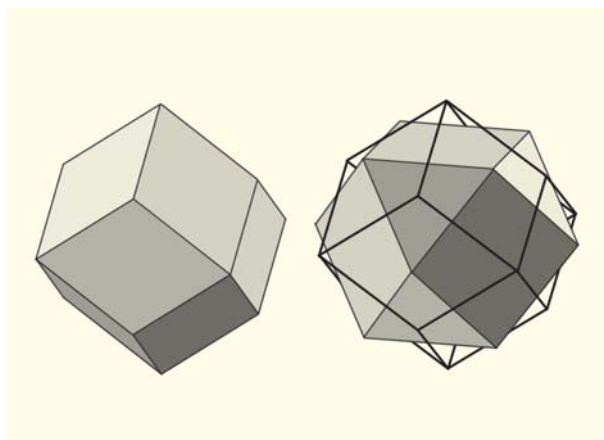
Хорошо видно, что ребра ячеек на поверхности снежника образуют граф, в каждой вершине которого сходятся ровно три клетки. Сама природа подсказывает нам необходимый аппарат. Вот уж истину она «написана языком математики» (Г.Галилей)! Пусть N_0 — число вершин графа, N_1 — число ребер, N_2 — число ячеек. Найдем среднюю координацию ячейки (т.е. среднее число сторон полигона). Она равна $2N_1/N_2$, поскольку каждое ребро графа принадлежит двум полигонам. По теореме Эйлера, $N_0 - N_1 + N_2 = 2$. Так как из каждой вершины графа исходит ровно три ребра, то: $3N_0 = 2N_1$. Решая совместно два уравнения, находим: $2N_1/N_2 = 6(1 - 2/N_2)$. Устремив N_2 в бесконечность, получаем: $2N_1/N_2 = 6$.

Итак, для «достаточно большой» поверхности снежника средняя координация ячейки равна 6. Разве не удивительно? В этом результате сплелись особенности топологии плоскости (теорема Эйлера) и поверхности снежника (в каждой вершине графа контактируют ровно три ячейки). Но как достигается эта средняя координация? Легко представить себе замощение плоскости шестиугольными плитками — пример из классической кристаллографии. Это не наш случай. Даже на рисунке поверхности снежника видно, что координация ячеек изменяется как минимум от 3 до 8, образуя некоторое

© Войтеховский Ю.Л., 2012



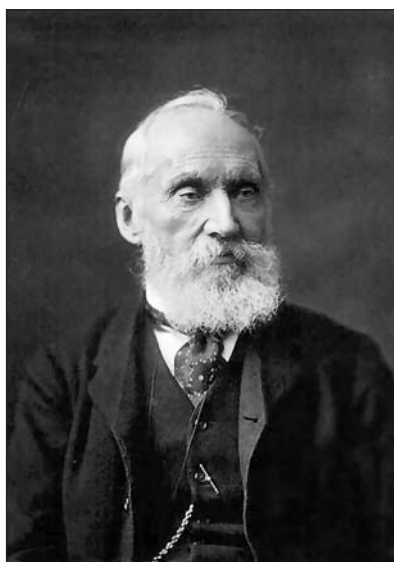
Ячеистая поверхность снежника. Хибины.



Ромбододекаэдр (слева) и кубоктаэдр.

статистическое распределение. Мы получили важный результат. Если b — инвариант ячеистой поверхности снежника, то распределение координат — его переменная характеристика, говорящая о текущем состоянии, которое, возможно, ранее было не таким и, быть может, стремится к следующему.

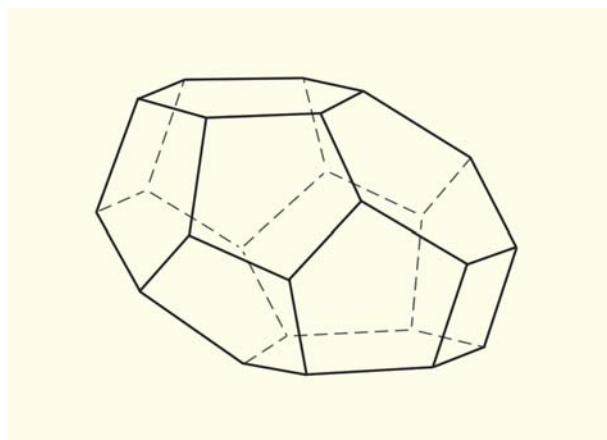
А сейчас перенесемся в другую страну и другую эпоху. Место — Лондон, время — конец XIX в. По набережной Темзы неспешно идет пожилой господин, время от времени останавливаясь и поглядывая на серую реку. От воды веет прохладой. Зябко. Человек ускорил шаг, и вскоре сквозь туман уютно засветились окна знакомого паба. Здесь можно пристроиться в отдельном кабинете и записать торопливые мысли. Знакомые вежливо раскланиваются с господином, ведь это сэр Уильям Томсон, получивший в 1892 г. за научные заслуги титул лорда Кельвина. Он президент Лондонского королевского общества (1890—1895), член-корреспондент Петербургской академии наук с 1877 г., почетный член — с 1896 г. Его заслуги — основы термодинамики и кинетической теории газов; абсолютная шкала температур; гипотеза тепловой смерти Вселенной; эффект охлаждения газов при адиабатическом расширении; расчет размеров молекул на основе измерений поверхностной энергии жидкости; теории приливов и распространения волн, зодиакального света, охлаждения земного шара; теорема о сохранении циркуляции в идеальной жидкости; целый ряд физических приборов... А сколько набросков и нерешенных вопросов в черновиках и памяти!



Сэр Уильям Томсон, лорд Кельвин (1824—1907).

Кстати, какова форма ячейки внутри вот этой пены, замершей на поданной кружке пива? Ее устройство в целом понятно: по общей поверхности — граничат два пузыря, по ребру — три, в общей точке — четыре. Других отношений контактирования нет. Физические условия равновесия тоже ясны: общий минимум поверхности границ, равенство плоских углов на ребрах и телесных — в узлах структуры. Но какова же форма ячейки? Очевидно, это не куб. Может быть, ромбододекаэдр или дуальный ему архимедов кубоктаэдр? Ведь ими тоже можно заполнить пространство «грань к грани». Грани и ребра пенных пузырей явно кривые. Так что же там, внутри?...Здесь я должен признаться читателю, что обстоятельства рождения задачи мною выдуманы. Но известно доподлинно, что она принадлежит лорду Кельвину, как и первые догадки о ее решении.

Популярность задачи Кельвина выросла после выхода в свет в 1917 г. эпохальной книги Д'Арси Вентворта Томпсона (1860—1948) «On growth and form»[1]. Автор обрушил на читателя целый мир форм, геометрически простых и сложных, неорганического и органического происхождения, а среди них — пленочные и пузырчатые структуры, поражающие ажурностью. Акцент книги — защита структурализма как альтернативы эволюционизму, который воспринимался биологами того времени в качестве фундаментальной детерминанты становления форм биологических видов. Автор писал: «Организм — столь сложная вещь, а рост — столь сложный феномен, что невозможно считать последний



Тетракайдекаэдр — аппроксимация «ячейки Коксетера».

настолько постоянным во всех частях, чтобы сохранять всю форму неизменной. Скорости роста варьируют, пропорции меняются, и вся конфигурация меняется в соответствии с ними». Книга носит описательный характер. Томпсон не излагает свои взгляды в форме гипотез, которые можно было бы проверить экспериментально. Не предлагает он и причинных объяснений тех аналогий, которые подмечены им между физическими и биологическими формами. Он — в стороне от всего этого, говоря, что «книга не нуждается в длинном предисловии, поскольку вся она от начала до конца — само предисловие» [1].

Как бы то ни было, на задачу лорда Кельвина в книге Д'Арси В.Томпсона обратил внимание выдающийся американский геометр Гарольд Скотт Мак-Дональд Коксетер (1907—2003), прославившийся изучением политопов и пробудивший в голландском графике М.К.Эшере страсть к созданию кристаллографических картин. Коксетер и решил эту задачу [2, 3], исходя из физических условий стабильности пены, сформулированных еще лордом Кельвином. Ответ оказался удивительным — среднее число граней у ячейки равно 13.56. Числа ребер и вершин тоже дробные! Эта мистическая форма получила название «ячейки Коксетера». Результат означал лишь одно — нет уникального полиэдра, заполняющего пространство пены «грань к грани». Но есть некоторое распределение полиэдров по числу граней и, как показали дальнейшие события, разнообразие комбинаторных типов полиэдров даже при одном числе граней.

Кажется, будто технические и естественные науки только и ждали решения задачи Кельвина. Оно тут же было приспособлено для описания структур перекристаллизации в металлах и сплавах, что важно для прогноза их физических свойств (в первую очередь — прочности [4—7]), а также в минеральных агрегатах, горных породах и рудах, что служит для реконструкции их условий и механизмов образования [8—11]. Справед-

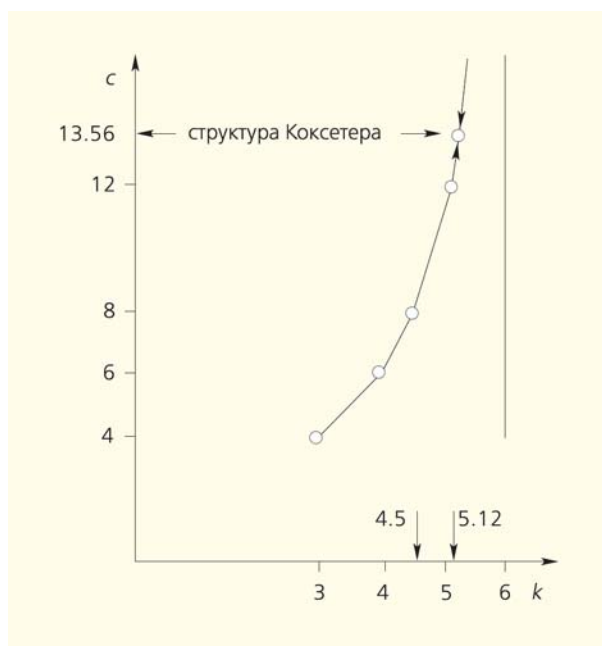
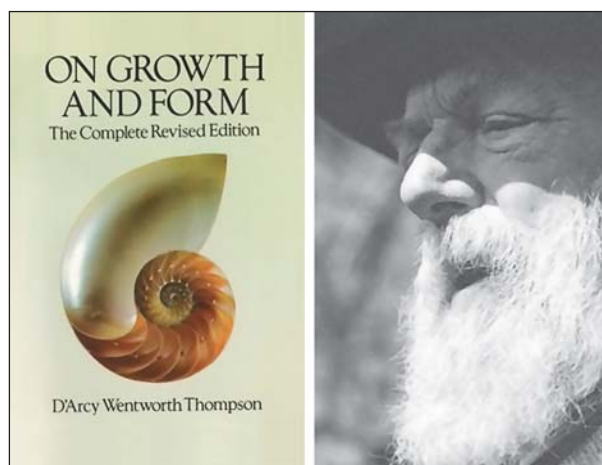


График зависимости средней координации зерна в реальном агрегате от параметра k (среднего числа ребер у грани ячейки). Он представляет собой шкалу структур перекристаллизации, на которой структура Коксетера отвечает значению $k = 5.12$.

ливости ради заметим, что зерно металла или минерала — не мыльный пузырь. Кристаллическая решетка ограничивает разнообразие внешних форм. Растущие кристаллиты теснят друг друга и приобретают компромиссную форму, для которой достигается относительный минимум свободной энергии межзерновых границ при некоторых ограничениях, налагаемых кристаллическими решетками. И все же даже при указанных несоответствиях ячейка Коксетера остается в металлографии, минералогии и петрографии весьма привле-



Д'Арси В.Томпсон и его книга «On growth and form».

кательной — идеалом, к которому стремятся в ходе перекристаллизации все мономинеральные сплавы и горные породы.

А что если рассмотреть реальный минеральный агрегат по Кельвину (по общей поверхности граничат два пузыря, по ребру — три, в общем узле — четыре) без физических условий равновесия — подобно тому, как мы сделали это в начале статьи для полигональной поверхности снежника?

Пусть N_0 — число узлов, N_1 — ребер, N_2 — граней, N_3 — ячеек. Найдем среднюю координацию ячейки $2N_2/N_3$. Параметры связаны соотношением Эйлера—Пуанкаре: $N_0 - N_1 + N_2 - N_3 = 0$. Почти очевидно, что $N_1 = 2N_0$. Еще одну связь можно получить, определив параметр k как среднее число ребер у грани ячейки: $3N_1 = kN_2$. Решая совместно три последних уравнения, находим: $2N_2/N_3 = 12/(6 - k)$. Итак, средняя координация зерна в реальном агрегате не является инвариантом. По сути, это шкала структур перекристаллизации, на которой структура Коксетера отвечает значению $k = 5.12$.

Заметим, что на пути к этой «идеальной» структуре средняя координация зерна в металле,

мономинеральной горной породе или льде проходит ряд «кристаллографических» значений 4, 6, 8, 12, которые локально могут реализоваться в виде квазикристаллографических упаковок кристаллитов. По-видимому, это должно отражаться на их прочностных свойствах. Как бы то ни было, предложенная шкала структур перекристаллизации с интересом обсуждалась применительно к динамическому равновесию льда на IV Международной конференции «Лавины и смежные вопросы», прошедшей в г.Кировске в сентябре 2011 г. в честь 75-летия Центра лавинной безопасности ОАО «Апатит». А ведь все началось с пивной пены...

В «Сонете к форме» В.Брюсова сказано:

*Есть тонкие властительные связи
меж контуром и запахом цветка.
Так бриллиант невидим нам, пока
под гранями не оживет в алмазе.*

Эта статья — о тех самых «властительных связях», пронизывающих окружающую нас природу, «написанную языком математики. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 94-05-16070-а, 96-05-64203-а и 11-05-92704-ИНД-а.

Литература

1. *Thompson d'Arzy W.* On growth and form. N.Y., 1945.
2. *Обер Дж.Г., Крейник Э.М., Рэнд П.Б.* Водные пены // В мире науки. 1986. №7. С.36—45.
3. *Coxeter H.S.M.* Close-packing and froth // Ill. J. Math. 1958. V 2. №4B. P.746—758.
4. *Салтыков С.А.* Стереометрическая металлография. М., 1958.
5. *Myers E.J., Sinnott M.J.* Quantitative metallography for particles having polyhedral shapes // Computer applications in metallurgical engineering. Amer. Soc. Metals. 1964. P.17—21.
6. *Watson D.F.* The number of edges per face in a large aggregate of space-filling, random-sized, randomly arranged polyhedral // Math. Geol. 1975. V.7. №4. P.349—354.
7. *Watson D.F.* The structure of paraequilibrium aggregates // Math. Geol. 1981. V.13. №4. P.357—360.
8. *Бродская Р.Л.* К вопросу о метризации структур горных пород // Зап. ВМО. 1972. №5. С.297—300.
9. *Бродская Р.Л.* Термодинамические (кинетические) критерии формирования и эволюции структуры минеральных агрегатов // Зап. ВМО. 1988. №5. С.623—633.
10. *Жабин А.Г., Гладких В.С.* Равновесные структуры минеральных агрегатов в глубинных лерцолитовых нодулях // Докл. АН. 1990. Т.313. №5. С.1200—1203.
11. *Жабин А.Г., Харченков А.Г.* Равновесная структура минерального агрегата // Кристаллография и минералогия. Л., 1972. С.61—71.

Орлан-белохвост регулирует численность чайки-хохотуньи

В.Н.Грищенко, Е.Д.Яблоновская-Грищенко

Есть виды птиц, которые можно назвать «проблемными», — их отношения с человеком складываются не лучшим образом. Хрестоматийный пример — серая ворона (*Corvus cornix*). В последнее время немало забот прибавляют быстро расселяющиеся чайка-хохотунья (*Larus cachinnans*) и большой баклан (*Phalacrocorax carbo*).

Чайка разоряет гнезда птиц, поедает птенцов и в этом отношении хуже вороны, которая слабее и хоть плавать не умеет.

В 2009 г. мы были свидетелями того, как в Дунайском биосферном заповеднике две хохотуньи на глазах у людей сожрали выводок белоглазого нырка (*Aythya nyroca*). Это редкий вид, занесенный в Красную книгу Украины, численность его неуклонно сокращается. Самка вывела маленьких утят на середину русла Дуная, за что и поплатилась. «Люфтваффе» не дремало, причем попытки отпугнуть хохотуний успеха не имели. Последнего птенца чайка выхватила из воды, нырнув перед самым носом мчащейся на нее моторки. А незадолго до того две птицы просто разорвали утенка пополам, схватив его с двух сторон.

В Казахстане на оз.Алаколь орнитологи наблюдали, как несколько хохотуний утащили на воду, разорвали и съели даже крупного птенца кулика-сороки (*Haematopus ostralegus*) размером почти с половину взрослой птицы [1].

© Грищенко В.Н.,
Яблоновская-Грищенко Е.Д., 2012



Виталий Николаевич Грищенко, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе Каневского природного заповедника (Черкасская обл., Украина). Область научных интересов — охрана птиц, распространение редких видов, изучение миграций, экология белого аиста.



Евгения Дмитриевна Яблоновская-Грищенко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник того же заповедника. Занимается изучением географической изменчивости песен птиц, проводит занятия по экологии у младших школьников.

На швейцарских озерах хохотуньи умудряются добывать зимующих уток, лысух, поганок. Один из основных способов защиты этих птиц от хищников — ныряние. Если нападает орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*), это прекрасно срабатывает. Пока он развернется для новой атаки, утка успеет снова нырнуть. Но с чайкой этот фокус не проходит. Она плавает поблизости, дожидаясь, пока птица не вынырнет, затем удар в голову — и готово [2].

Могут чайки охотиться и на пролетающих мелких воробьиных птиц, причем не хуже ястреба [3, 4].

Хохотунья — универсал: кормится на воде и на суше, в природных биотопах и на свалках. Гнездится колониями также в самых разных местах — на природных островках, на бетонных дамбах, в зарослях на рыбообразных прудах. В последнее время стали появляться колонии чаек на плоских крышах зданий в городах. Радости от этого местным жителям не много — тут и шум, и продукты жизнедеятельности, да и риск распространения ряда инфекций нельзя сбрасывать со счетов. На одной из орнитологических конференций демонстрировали фотографию — легковой автомобиль,



Чайки-хохотуни обосновались на бетонном волнорезе у Каневской ГЭС.

Здесь и далее фото В.Н.Грищенко

простоявший день у такого дома с колонией чаек. Машина была красного цвета... до того, как ее поставили у колонии.

Конечно, не везде чайки такие уж злодеи, но проблем с ними хватает. Человек давно пытается регулировать численность таких видов, но далеко не всегда успешно. Тем интереснее примеры срабатывания естественных регуляторных механизмов, когда природа сама «наводит порядок в доме».

Предыстория

Чайка-хохотунья начала расселяться вверх по Днепру после создания каскада ГЭС. В южной части Каневского водохранилища первую колонию нашли еще в 1983 г. [5]. Регулярно гнездиться чайки начали с 1990 г. В 1991-м появилась колония из 13 гнезд на бетонном волнорезе у Каневской ГЭС. Дамба длиной около 2 км отгораживает «бухту» у правого берега водохранилища возле г.Канева. Чайки обосновались в дальней части волнореза. Гнезда они строили из растущего на дамбе бурьяна и приносимых водой стеблей

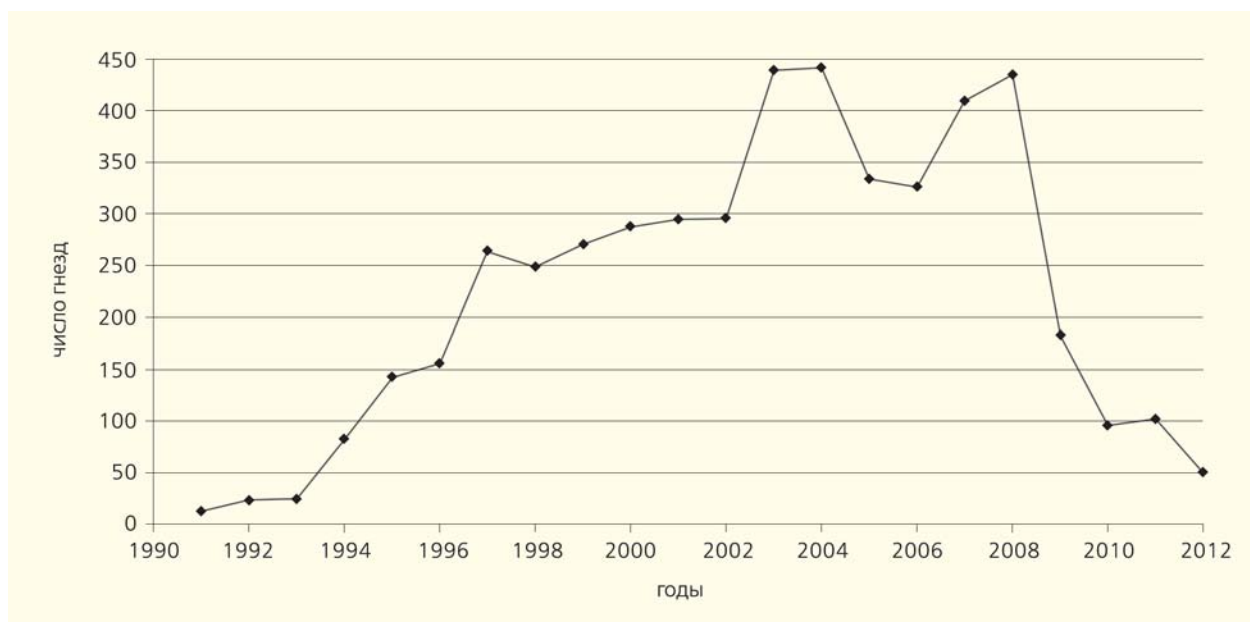
тростника и других растений. Колония быстро растянулась на несколько сотен метров, при этом гнездились птицы весьма плотно — расстояние между соседними гнездами составляло в большинстве случаев от 1 до 5 м. Численность чаек поначалу изменялась по классической схеме S-образной кривой. Стремительный рост сменился стабилизацией на уровне около 300 пар. Затем произошел новый скачок, численность достигла максимума в 2003 и 2004 гг., когда гнездились почти 450 пар чаек [6]. Затем произошел спад, но к 2008 г. численность почти достигла прежнего уровня. И вот он-то и стал «годом великого перелома».

Мы много лет наблюдали за этой колонией — проводили учеты, кольцевали птенцов, изучали экологию чаек. Кольца для хохотуний используются крупные, номера их можно прочесть дистанционно с помощью подзорной трубы. С 2004 г. этим занялись и мы, к тому времени в колонии гнездились уже немало чаек с нашими же кольцами. Если вести себя тихо и спокойно, птицы быстро привыкают к присутствию человека и садят-

ся в 10—20 м. С такого расстояния можно уже спокойно прочитать номер кольца. Правда, работа это нелегкая, потому что номер состоит из буквы и шести цифр, и «ухватить» все сразу удается очень редко. Чаще всего чайка садилась так, что была видна лишь часть цифр, нередко приходилось подолгу ждать, пока птица не переменит позу.

Результаты всех этих наблюдений оказались очень интересными. Удалось определить возрастную структуру колонии. Выяснилось, что окольцованных чаек на волнорезе гораздо меньше, чем должно бы быть, исходя из объемов кольцевания и с учетом смертности птиц. Это означало, что не все чайки возвращаются в родные места, часть расселяется дальше. И действительно, окольцованные в Каневе птицы были обнаружены на гнездовании в Польше на Висле и в Белоруссии возле Минска, на зимовке — в странах Западной Европы.

5 мая 2008 г. работа шла очень успешно. За день удалось прочитать номера у трех десятков птиц. Это было большинство чаек, имевших кольца, но не все, поэтому мы вышли «на охоту»



Динамика численности чайки-хохотуны в колонии у Каневской ГЭС.

еще раз 17 мая. Но не тут-то было. Ситуация кардинально изменилась — птицы оказались нервными и очень осторожными. Они подпускали человека не ближе 50 м и взлетали при первом же шаге в их сторону. О прочтении номеров колец уже и речи не было. А когда на проходящей невдалеке дороге «грохну-

ла» машина, чайки взлетели всей колонией и долго не садились. Такого раньше никогда не было. Если они и пугались, то не все разом, да и успокаивались быстро. Мы заподозрили, что птиц стреляли. Однако общение с работниками шлюза (в чьем ведении и находится волнорез), а позже и сотрудниками рыбин-

спекции эти подозрения развеяло. Сами они к чайкам относились вполне лояльно и никакой стрельбы не слышали. Такие «вольности» возле режимного объекта — ГЭС — не остались бы незамеченными. Да в этом, в общем-то, и не было никакого смысла — на Каневщине чайки никого особо не донимают. Да-



Гнезда чайки строят из стеблей растущих на волнорезе бурьянов и приносимого водой мусора. В полной кладке обычно всего три яйца, из которых птенцы вылупляются не одновременно, а с небольшим интервалом.



Подростки птенцы уходят на воду, взрослые птицы держатся поблизости, причем нередко между соседями возникают конфликтные ситуации.

же рыбаки на них махнули рукой после появления бакланов.

Когда 31 мая мы пришли на волнорез, кольцевать оказалось некого. В колонии не было ни одного птенца... А ведь еще две недели назад все гнезда были в целости и сохранности, во многих из них были недавно вылупившиеся чайчата. В том году загадка так и осталась неразрешенной.

В 2009 г. чайки снова загнездились, но уже в гораздо меньшем количестве. Численность колонии снизилась более чем в два раза. Видимо, прошлогоднее происшествие многим птицам оказалось не по душе и они предпочли убраться подальше. 29 апреля мы провели учет. Колония выглядела ненормально. Большинство хохотуний откладывает по три яйца. Обычно до-

ля таких кладок составляет от 70 до 86%, лишь в отдельные годы уменьшаясь до 54–57% (табл.). Уже в предыдущем году это соотношение было резко нарушено — по три яйца было всего в трети гнезд. Это говорит о значительной доле повторных кладок — количество яиц в них обычно меньше. В 2009 г. доля кладок с тремя яйцами составила лишь 15%, а большинство гнезд оказались и вовсе без яиц. Понятно, что птицы заново строили гнезда и вновь откладывали яйца взамен разоренных кладок. А дальше повторилось то же, что и в прошлом году: 6 июня на волнорезе не было ни птенцов, ни кладок. Даже большинство гнезд куда-то исчезли. В колонии держались лишь десятка два взрослых птиц, которые лениво окрикивали посетителей.

В 2010 г. у чаек было все наперекосяк с самого начала. До полных кладок дело вообще не дошло. В апреле мы трижды проводили учет, каждый раз с тем же результатом: несколько десятков пустых гнезд, в отдельных начатые кладки. Весь апрель чайки пытались строить гнезда снова и снова, но их все время кто-то разорял. В мае они бросили это безнадежное дело.

В 2011 г. чайки сдались сразу: 3 апреля в колонии было больше сотни гнезд, одно из них даже с яйцом. Но уже к середине апреля все опустело. Лишь отдельные, наиболее стойкие, птицы еще пытались чего-то добиться — 3 июня мы нашли гнездо хохотунии с полной кладкой, но вскоре и оно исчезло.

К 2012 г. от колонии остались уже «рожки да ножки», но она все еще продолжает существовать.

Кто же виноват?

Познакомиться с виновниками всех этих странных событий удалось в 2009 г. При каждом посещении волнореза мы встречали пару взрослых орланов.

Таблица

Величина кладки чайки-хохотунии в колонии у Каневской ГЭС в разные годы

Год	n	Величина кладки	Доля кладок с разным числом яиц, %			
			1	2	3	4
1993	23	2.61 ± 0.12	4.4	30.4	65.2	0
1994	86	2.78 ± 05	3.5	15.1	81.4	0
1995	142	2.44 ± 06	15.5	26.1	57.0	1.4
1996	156	2.86 ± 03	1.9	10.9	86.5	0.6
1997	264	2.47 ± 04	11.4	31.4	56.4	0.8
1998	249	2.69 ± 04	5.6	19.7	74.3	0.4
1999	262	2.54 ± 05	16.0	13.7	70.2	0
2000	254	2.52 ± 04	13.0	22.1	65.0	0
2001	284	2.31 ± 05	24.3	21.1	54.2	0.4
2002	241	2.52 ± 05	13.7	20.3	66.0	0
2003	437	2.78 ± 02	4.1	13.3	82.6	0
2004	434	2.85 ± 02	2.5	10.4	86.2	0.9
2005	321	2.82 ± 03	3.1	12.2	84.7	0
2006	312	2.73 ± 03	6.7	13.8	79.5	0
2007	380	2.59 ± 04	11.6	17.6	70.8	0
2008	335	2.07 ± 04	26.9	39.7	32.8	0.6
2009	65	1.66 ± 09	49.2	35.4	15.4	0

Обычно они чинно восседали на бетонном парапете, который тянется вдоль дамбы, и улетали еще за 500–700 м от человека. Поблизости есть три гнезда орланов на расстоянии от 5 до 12 км от Каневской ГЭС. Одна из этих пар и начала «брать дань» с колонии чаек. Держались они здесь с зимы. Поначалу «пасли» стаи уток, зимующих на полынье у ГЭС, затем переключались на скопления пролетных птиц. Пока на основной части водохранилища еще стоит лед, возле ГЭС уже образуется обширный участок открытой воды. Здесь можно увидеть тысячные стаи уток, гусей, лысух, поганок. Да и после того как лед сойдет, утки любят отдыхать на волнорезе. Используют его, кстати, «по прямому назначению» — для защиты от ветра и волнобоя. Так что добычей орланы были обеспечены до апреля. Ну и в какой-то момент решили «попробовать на зуб» чаек.

Поначалу мы не придали этой встрече особого значения. Орлан-белохвост на Днепре — не редкость. Но 6 апреля 2009 г. орланы устроили нам совершенно фантастическое представление. Птицы, как обычно, сидели на парапете поблизости друг от друга. Вдруг они взлетели и начали кружиться, гонясь за чайками. Через пару минут оба орлана отбили одну хохотунью и погнали ее на водохранилище в сторону ГЭС. Дальнейшее удалось заснять на фото и видео. Орланы упорно преследовали чайку, несколько раз догоняли ее, однако она уворачивалась. Нападала в основном одна птица, другая больше крутилась рядом, хотя тоже пару раз атаковала. Кто бы мог подумать, что увальень-орлан больше трех минут (хронометраж по видеосъемке) может в полете активно преследовать чайку! Да еще выписывать за ней весьма сложные пируэты. В конце концов орланы, видимо, выдохлись и оставили чайку в покое. Она благополучно вернулась на колонию.

Честно говоря, даже сложно сказать, было ли это охотой.



Орлан-белохвост — самый крупный и сильный пернатый хищник на Днепре.

Возможно, орланы занимались клептопаразитизмом — пытались заставить чайку оторвать проглоченную пищу. Энергетическая «стоимость» такой добычи вызывает, мягко говоря, вопросы — столько усилий ради куска дохлой рыбы; тем не менее, орланы подобными вещами «балуются». Так, С.А.Лопарев наблюдал, как орлан-белохвост

атаковал пролетающего через Днепр южнее Канева белого аиста (*Ciconia ciconia*) и заставил оторвать пойманную рыбешку, которую потом выловил из воды [7].

Не всегда атаки орланов заканчиваются для чаек столь благополучно. На колонии мы находили оторванные головы и крылья, вырванные крупные



Недалеко от чаек на волнорезе гнездятся и речные крачки. Гнезда у них, в отличие от чаек, символические, яйца могут лежать просто в трещине на бетоне.



Чайки — птицы очень шумные, они часто устраивают бурные сцены с криками и демонстрациями.

пучки перьев. Мошь орлана впечатляет. Взрослая хохотунья все-таки птица не маленькая.

Конечно, пара орланов не в состоянии не то что «съесть» колонию чаек, а даже как-то существенно снизить ее численность. А вот косвенное влияние оказалось роковым. Постоянное присутствие и атаки орланов вызывали стрессовое состояние у чаек, из-за чего нарушалась нормальная гнездовая жизнь. Известно, что когда спровоцированные внешними факторами групповые взлеты происходят слишком часто, это нарушает функциональную устойчивость колонии [8].

Крупные чайки вообще весьма агрессивны по отношению к сородичам. Они не прочь разорить гнездо соседа, процветает и каннибализм. При кольцевании птенцов приходилось передвигаться очень осторожно, чтобы не поднималась суматоха. Если чайчата начинают бегать туда-сюда, некоторые из взрослых птиц бросаются на них. А от одного удара мощного клюва в голову может замертво свалиться даже крупный оперенный птенец.

Весьма существенная причина гибели яиц и птенцов хохотуньи — внутривидовое хищничество. Нападения на оставленные без присмотра гнезда с яйцами и маленькими птенцами бывают особенно успешными во время тревоги, спровоцированной хищником или человеком [9]. Так, на постоянном маршруте, где чайки подвергались систематическому беспокойству со стороны наблюдателей, гибель яиц оказалась очень высокой — 44.1% [10].

До предела это поведение доведено у черноголовой чайки (*Larus melanocephalus*). Появление хищника в колонии во время откладки яиц и в начальный период насиживания вызывает у птиц сильное раздражение. Они начинают расклевывать яйца в непосредственной близости от него. Чайки, потерявшие кладки, разоряют гнезда соседей. Если хищники посещают колонию часто, урон оказывается весьма существенным. Появление же в ней человека может привести вообще к полному уничтожению кладок [11]. По мнению Т.Б.Армацкой [12], за пределами гнездо-

вых участков яйца и птенцы воспринимаются черноголовыми чайками уже как пища, а вид расклеванного яйца и вовсе побуждает к аналогичным действиям. Так возникает своеобразная «цепная реакция», которая может привести к гибели целой колонии.

Необычность сложившейся в Каневе ситуации в том, что на протяжении ряда лет не просто возникала массовая гибель яиц и птенцов — к нулю сводилась результативность гнездования всей крупной колонии вообще. При этом чайки упорно гнездились в том же месте — степень гнездового консерватизма хохотуньи заслуживает внимания.

Интересно, что тот, кто мог бы создать чайкам больше всего проблем, — человек — служил им скорее защитой. А вот против своего природного врага они оказались совершенно беспомощны. В 1990-х годах доступ на волнорез был более или менее свободным. Туда регулярно ходили не только рыбаки, но и праздношатающиеся. Забегали и бродячие собаки. Чайкам все это никак не мешало — колония росла как на дрожжах. Присутствие людей чаек волновало мало, а вот крупные хищники на волнорезе если и появлялись, то нечасто. Да и вряд ли кто-нибудь, кроме орнитологов, мог получить удовольствие от пребывания в колонии чаек. При приближении человека к гнездам птицы начинали атаковать его со всех сторон. В большинстве случаев это были лишь демонстрации — пикирующая чайка отворачивала за метр-два от «нарушителя спокойствия». В большинстве, но не во всех, а удар по голове лапой массивной птицы бывает очень даже чувствительным. Плюс к этому «дождь» из помета и дикая фония (хохот, за который птица получила название, — это крик тревоги). Да и «амбре» в колонии стоит еще то. Так что с зеваками чайки справлялись без особых проблем.

Но даже при постоянном присутствии людей эти проблемы могли бы возникать лишь локально — гибель яиц или птенцов в нескольких близко расположенных гнездах. Птицы никогда не взлетали все разом, они будто понимали, что идущий вдаль человек особой опасности не представляет, а вот от соседней гнездо охранять надо. При атаке же орланов «на уши» вставала вся колония. Такая реакция вполне понятна. Когда орлан пронесется «на бреющем» полете над колонией, он может схватить любую сидящую чайку. Единственный способ спастись — взлететь в воздух. Там уже хищнику поймать чайку гораздо сложнее.

По-видимому, существенную отрицательную роль в данном случае сыграл линейный характер колонии при большой плотности гнездования. К тому же местность совершенно открытая. Все-таки наличие кустов, деревьев, холмиков на каком-нибудь острове расчленяет колонию на участки, и возникающая на одном из них суматоха распространяется не так быстро. А тут любой пролет орлана

вдоль дамбы приводил сразу ко всеобщему переполоху.

* * *

То, что произошло, — мечта специалистов по регуляции численности проблемных видов птиц. Борьба с колониями чаек и бакланов не так просто, как может показаться. Разорение гнезд, отстрел и распугивание птиц на колониях приводят лишь к повторному гнездованию. При интенсивном преследовании птицы рассредоточиваются, и из одной колонии образуется несколько, причем в более труднодоступных местах. Оптимальный вариант — добиться, чтобы птицы гнездились, но при этом продуктивность размножения свести к минимуму. Для этого используется прокалывание яиц, обрызгивание их химическими составами, нарушающими газообмен эмбриона, и т.п. Птицы продолжают насиживание кладок, но из них ничего не выводится, а вот время для повторного гнездования безвозвратно упущено. Подобные мероприятия — дело хлопотное и не дающее стопроцентной гарантии,

а тут без какого-либо вмешательства человека одна из крупнейших колоний чайки-хохотуны на среднем Днепре перестала функционировать как «боевая единица». Четыре года подряд птицы гнездились с нулевым результатом!

Там, где возникает необходимость «приструнить» чаек, аналогичную ситуацию можно попробовать создать искусственно. Самый простой вариант — использовать для этого ловчего тетеревиатника (*Accipiter gentilis*). Он, правда, не столь страшен для крупных чаек, они ему и сами могут «задать жару». Но можно ведь и орлана приручить. В любом случае это лучше стрельбы по птицам, к чему чаще всего сводится регуляция численности. Помимо всего прочего, зачастую это служит прикрытием банального браконьерства.

У природы достаточно регуляторных механизмов, чтобы сбалансировать экосистему после возникших нарушений. И может быть, в пылу борьбы с очередным «супостатом» у нас просто не хватает терпения дожидаться, когда они сработают? ■

Литература

1. Березовиков Н.Н., Грачев В.А. О двух случаях нападений хохотуны *Larus cachinnans* на птенцов кулика-сороки *Haematopus ostralegus* на озере Алаколь // Рус. орн. журн. 2005. Т.14. Экспр.-вып. 284. С.319—320.
2. Schuster S. Die Einnischung einer neuen Vogelart am Bodensee: die Weisskopfmöwe *Larus cachinnans* // Ornithologische Beobachter. 2004. Bd.101. №2. S.115—124.
3. Домашевский С.В. Желтоголовый королек в питании чайки-хохотуны // Беркут. 2000. Т.9. №1—2. С.73.
4. Nankin D.N. Vom Jagdeifer der Steppenmöwe *Larus cabinnans* // Ornithologische Mitteilungen. 2007. Bd.59. №3. S.78—79.
5. Клецов Н.Л., Фесенко Г.В. Чайковые птицы водохранилищ Днепровского каскада. Киев, 1990.
6. Грищенко В.Н., Гаврилюк М.Н., Яблоновская-Грищенко Е.Д. Динамика численности чайки-хохотуны в колонии у Каневской ГЭС в 1991—2006 гг. // Авіфауна України. 2006. №3. С.59—64.
7. Лопарев С.А. Интересный случай клептопаразитизма // Беркут. 1997. Т.6. Вып.1—2. С.69.
8. Никольский И.Д. Групповая реакция на информацию у чайковых птиц // Теоретические аспекты колониальности у птиц. М., 1985. С.106—108.
9. Юдин К.А., Фирсова Л.В. Серебристая чайка // Птицы СССР. Чайковые. М., 1988. С.126—146.
10. Панов Е.Н., Грабовский В.И., Зыкова Л.Ю. Биология гнездования, поведение и таксономия хохотуны *Larus cachinnans*. 1. Пространственная структура и поведенческие аспекты гнездовой биологии // Зоол. журн. 1990. Т.69. Вып.12. С.92—105.
11. Клименко М.И. Материалы по фауне птиц района Черноморского государственного заповедника // Тр. Черноморского гос. зап-ка. 1950. Вып. 1. С.3—52.
12. Ардамацкая Т.Б. Поведение и степень агрессивности черноголовой чайки в моновидовых и смешанных колониях на островах Тендровского залива // Теоретические аспекты колониальности у птиц. М., 1985. С. 8—11.

Землеройка-барабанщик

И.А.Володин, О.Г.Ильченко, Е.В.Володина, А.С.Зайцева, А.Л.Чеботарева

В Московском зоопарке появилось удивительное животное — землеройка-красавка, или пегий пutorак (*Diplothesodon pulcbellum*). Этот крошечный (размером с очень маленькую мышь или с половинку большой мыши) представитель подсемейства белозубочьих землероек отряда насекомоядных встречается в песках Туркмении, Узбекистана, Казахстана и на юге России. Названия «пегий» и «красавка» легко объяснимы. Пutorаки и правда очень красивы, с густой блестящей серо-стальной шерсткой и большим белым овалом на спине. А «пutorакой» (женского рода) ранее называли другого зверька из отряда насекомоядных — выхухоль [1].

В поведении землероек вообще много удивительного. Все они очень маленькие и очень подвижные и из-за своих миниатюрных размеров должны питаться очень часто. При пониженной температуре землеройки могут впадать в оцепенение, и тогда температура их тела становится равной температуре окружающей среды. Но даже если тепло, пегие пutorаки, подобно другим землеройкам, могут снижать температуру тела при недостатке еды [2] или даже без видимых причин. Это позволяет бережнее расходовать энергию. Большую часть своей активности в течение суток пегие пutorаки посвящают поиску и поеданию своей добычи: мелких ящериц, пауков, различных на-



Илья Александрович Володин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории поведения животных кафедры зоологии позвоночных МГУ им. М.В.Ломоносова. Область научных интересов — социальное поведение млекопитающих и птиц, методы компьютерного анализа звукового и двигательного поведения, механизмы звукопродукции, биоакустический мониторинг популяций.

Ольга Геннадиевна Ильченко (в центре), заведующая секцией мелких млекопитающих Московского зоопарка. Занимается разработкой технологий разведения редких видов в неволе, изучает социальное и репродуктивное поведение, развитие поведения в онтогенезе.

Елена Владимировна Володина (вторая слева), кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела научных исследований Московского зоопарка. Занимается исследованием структуры и функции звуков, индивидуальной и половой специфики криков.

Александра Сергеевна Зайцева (первая слева), магистрант биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Изучает онтогенез вокального поведения и морфологических признаков землероек в неволе.

Анастасия Леонидовна Чеботарева, магистрант Московского городского педагогического университета. Исследует социальное и репродуктивное поведение мелких млекопитающих в неволе.

секомых и их личинок [2, 3]. Охотиться и кушать они готовы всегда, поэтому в условиях неволи приходится постоянно следить за их диетой и оборудовать клетки специальными беговыми колесиками, в которых они могли бы поупражняться.

Как и все землеройки, пегие пutorаки растут и взрослеют очень быстро. Полуторамесячный зверек уже считается взрослым и способен размножаться. Подросшие детеныши способны сами разыскивать пищу, но могут не найти обратной дороги. Чтобы не потеряться, детеныш крепко ухватывает маму сзади за шкурку челюстями, следующую цепляется за первого, и так до тех пор, пока весь выводок не выстроится в маленький караванчик, который мама затем заводит обратно в нору. При формировании и перемещении караванчика можно слышать тихие попискивания, означающие, что все дети на месте и никто из них не потерялся. Если же один из детенышей начинает пищать громко, это означает, что он случайно отцепился. Такой детеныш может отстать и погибнуть, если «поезд» уйдет без него. Слыша громкие звуки отставшего, мать притормаживает, чтобы дать ему возможность снова присоединиться к караванчику.



Землеройка-красавка, или пегий пutorак.

Фото В.Е.Шутова

Пегие пutorаки очень говорливы. Детеныши писками сообщают маме о том, что голодны. Даже совсем маленькие детеныши способны издавать хорошо слышимые щелчки. Эхо, отраженное от этих щелчков, по-видимому, помогает им не наткаться на стенки в полной темноте гнезда. Кроме щелчков они издают и другие звуки, хорошо различимые на человеческий слух. Особенно часто их можно слышать во время ухаживания

самца за самкой и при конфликтах из-за добычи [4].

Особые способности

Однако до сих пор не очень ясно, существует ли у землероек также и ультразвуковая эхолокация, неслышимая для человека. Такой эхолокацией пользуются летучие мыши для того, чтобы на лету в полной темноте обнаруживать летающих насекомых.



Размером пегий пutorак невелик: с очень маленькую мышью. Слева — взрослый, справа — детеныши.

Здесь и далее фото авторов



Семейство пutorаков выстраивается в маленький «поезд». Хотя шестнадцатидневные дети уже не сильно отличаются по размеру от матери, в природе они еще могут не найти обратной дороги.

В отличие от слышимых звуков, которые распространяются не только вперед, но и в стороны, ультразвук распространяется очень узким пучком и отражается от летящей ночной бабочки

обратно — к широким ушам-локаторам летучей мыши. А могут ли издавать и воспринимать издавать отраженный ультразвук землеройки? Прямых подтверждений этому получено не было,

хотя эксперименты, проведенные в 60-х годах прошлого столетия, вроде бы и не отвергают такой возможности [5, 6]. Однако старые методы не позволяли качественно записывать ультразвук. Обнаруженные ультразвуки обязательно принадлежали землеройкам, поскольку ультразвуковую составляющую могли иметь даже удары их лапок по клетке. Но даже в недавно проведенных исследованиях, посвященных эхолокации землероек, никаких ультразвуковых записей получено не было [7], и выводы о способностях землероек к ультразвуковой эхолокации основаны по большей части на наблюдениях за их поведением.

Ореол тайн вокруг землероек продолжает вдохновлять исследователей, тем более что возможностей для этого все больше и больше. Появились суперчувствительные микрофоны и цифровые рекордеры для записи звука и ультразвука, а также специальные программы, позволяю-



Экспериментальная установка из двух валенков, вставленных один в другой, для записи звуков пегих пutorаков при ориентации в незнакомом пространстве в темноте.

щие видеть звук и ультразвук на экранах компьютеров. Весной 2011 г. в Московском зоопарке родилось уже шестое поколение пегих пугорак, а в зоопарке из сотрудников научного отдела и студентов-практикантов образовалась группа энтузиастов, собирающихся посвятить предстоящее лето изучению поведения этих интересных животных.

На повестке дня стоял вопрос, каким образом записывать ультразвук. Пластиковые контейнеры из магазина «КЕА», в которых жили пугорак, были плохо пригодны для этой цели. Идеально гладкие стенки контейнеров отражали звук, давая очень сильное эхо, которое портило звукозапись. Неожиданная идея возникла при взгляде на комплект зимней спецодежды. А почему бы не посадить пугорак в валенок? Поскольку он не отражает, а поглощает звук, то, вставленные один в один, валенки стали практически идеальной студией звукозаписи для маленького ночного животного. Была надежда, что, попав внутрь валенка, пугорак начнет обследовать помещение, используя при этом эхолокацию. Однако этот эксперимент оказался безуспешным. Ни одно животное не издавало ни звуков, ни щелчков. Одно из двух: либо пугорак вообще не имели никакой ультразвуковой сигнализации, либо просто были не в настроении издавать какие-либо звуки в уютном и комфортабельном интерьере валенка. Очевидно, что дизайн экспериментов следовало менять.

Из имеющихся в литературе описаний экспериментов по поиску эхолокации у землероек наиболее многообещающим выглядел тест на приподнятом над землей диске. В экспериментах Гоулда с соавторами [5] высаженные на диск землеройки тут же начинали его обследовать, используя при этом весь доступный им арсенал способов и органов чувств: перемещения, обнюхивание, различные звуки и эхолокационные ультразвуковые щелчки. Как раз это мы и хо-

тели бы получить от пугорак. Было решено приступить к серии экспериментов, используя в качестве импровизированного приподнятого диска перевернутое ведро из тонкого пластика.

Живые мобильники

Эксперименты с ведром привели к большому успеху, но совсем не тому, который мы ожидали. На прогибающемся под лапками доньшке ведра пугорак вибрировали, как маленькие мобильные телефоны с включенным режимом вибрации! Это удивительное явление также иногда встречалось, когда зверька брали в руки, сажали в карман или приподнимали вверх вместе с его укрытием, сделанным из отрезка пластикового шланга. Во всех этих ситуациях общим было то, что прежде ровная поверхность грунта прогибалась или исчезала под зверьком, так что земля как бы уходила у него из-под ног.

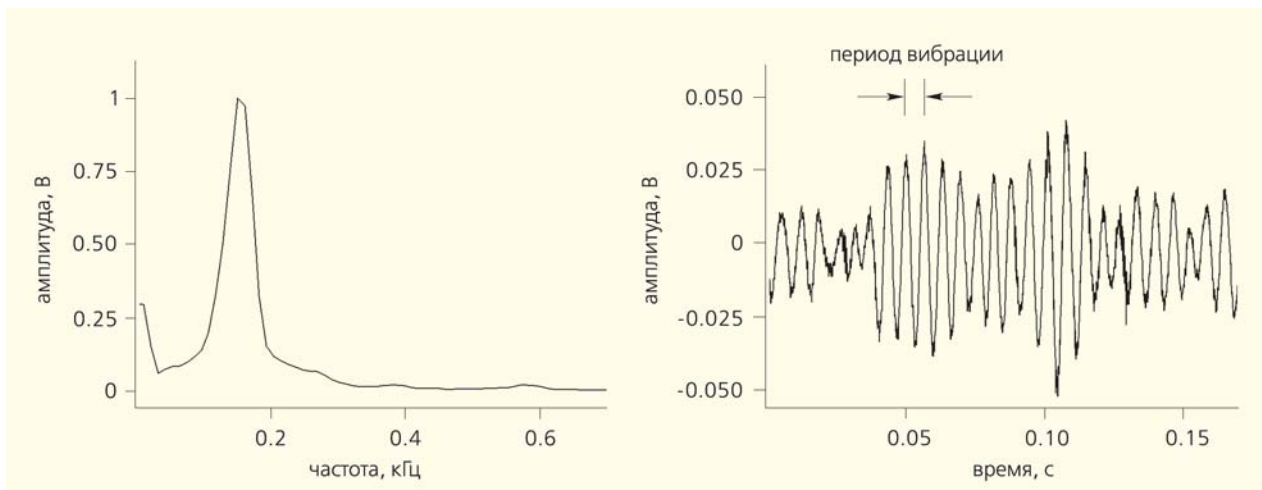
Это было настоящее открытие. Прежде вибрацию никогда не находили, да и не пытались искать у землероек. Так к списку удивительных способностей землероек-красавок добавилась еще и вибрация, т.е. способность генерировать низкочастотные сейсмические волны.

Землеройка как источник сейсмической активности

Чтобы поподробнее изучить вибрацию у пугорак, методику предстояло несколько усовершенствовать. Вибрация — это сейсмический сигнал, а для регистрации сейсмических волн нужны геофоны — приборы, воспринимающие именно грунтовые, а не воздушные вибрации. Но любая сейсмическая вибрация имеет также и акустический компонент. Поэтому мы могли записывать возникающие в воздухе при вибрации пугорак звуковые волны с помощью



Чтобы записать звуки вибрации, даже усиленные мембраной барабана, микрофоны приходилось держать очень близко от вибрирующего животного.



Звуковые волны, записанные при вибрации путорака на мембране барабана (слева — спектр, справа — осциллограмма), позволяют увидеть период вибрации и измерить частоту следования вибрационных пульсов. Спектральный пик на 160 Гц соответствует частоте вибрации.

рекордеров для записи слышимых звуков и неслышимого ультразвука.

Однако нужно было подобрать вибростенд получше нашего пластикового ведра. Оно все же довольно плохо преобразовывало сейсмические колебания в воздушные. Вибрация становилась хорошо заметной только тогда, когда путорак находился в самом центре его доньшка. В качестве замены ведру решили попробовать привезенный из отпуска в Египте нарядный деревянный барабан. Бара-

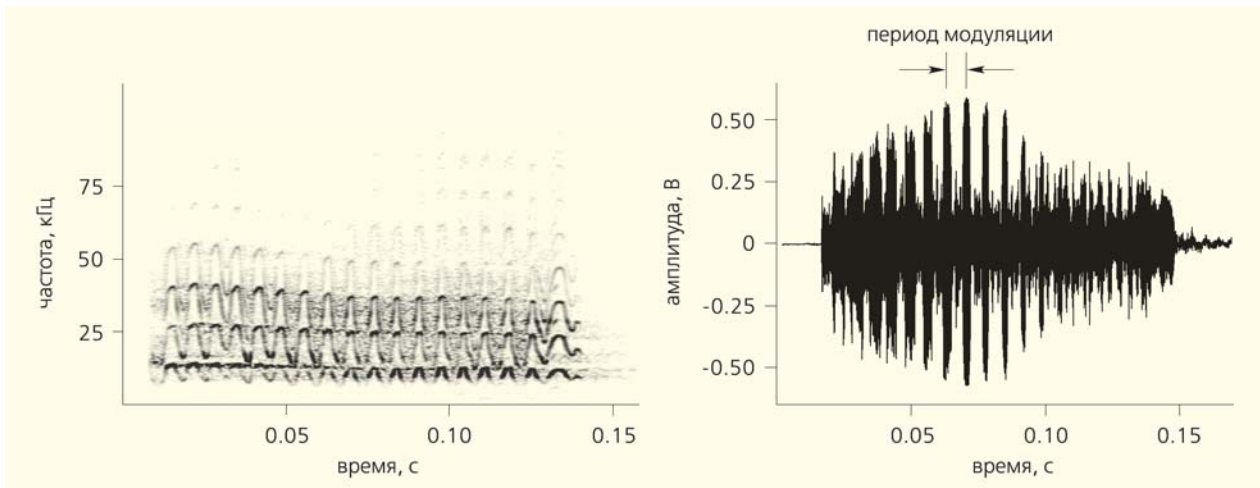
бан был высотой около 40 см, с туго натянутой круглой кожаной мембраной около 25 см в диаметре. Чем не имитация приподнятого диска из экспериментов Гоулда [5, 6]! Стояло лето, поэтому из-за жары мембрана барабана несколько подсохла и заскорузла. Но после протирки влажной тряпочкой растянулась и стала звонко гудеть при малейшем постукивании. Этот барабан мы установили вертикально в большой пластиковый кювет с толстым слоем песка внизу для мягкости: на тот случай, если пу-

торак вдруг решит соскочить с барабана вниз. Теперь оптимизированная установка была готова для проведения новой серии экспериментов по изучению вибрации у путораков. Этот опыт имитировал приход животного на новую, неизвестную для него территорию с неизвестным для него грунтовым покрытием.

Было решено, что в экспериментах примут участие животные разного пола и возраста. Это было важно для того, чтобы оценить влияние этих факторов на способность путораков вибрировать. Среди 19 наших будущих участников экспериментов было примерно поровну самцов и самок, и на девять взрослых приходилось десять подростков. Поскольку путораки — зверьки ночные, исследователям также пришлось на время перейти на вечерне-ночной образ жизни. Каждого путорака проверили на способность вибрировать, высаживая поодиночке на несколько минут на барабан. Одиннадцать из 19 зверьков вибрировали на барабане, который при этом издавал гулкие звуки. Путораки вибрировали всем телом, и было видно, что хвостик при этом тоже дрожит. После эксперимента путораков взвешивали на электронных весах, для того чтобы посмотреть, будет ли различать-



Наши путораки привыкли к тому, что их часто берут в руки.



Так выглядит на экране компьютера громкий дребезжащий звук «джик» пегого пutorака (слева — спектрограмма, справа — осциллограмма). Дребезжание появляется из-за волнообразных изгибаний, видимых на спектрограмме звука — модуляции основной частоты. Удивительно, что период дребезжания в джиках пutorаков совпадает с периодом вибрационных пульсов.

ся частота вибрации у более тяжелых и более легких по весу животных.

На всякий случай все звукозаписи тщательно проверили на возможное присутствие ультразвука. Сделать это на слух невозможно, поэтому мы использовали специальную программу, которая позволяет увидеть его на экране компьютера. Однако никакого ультразвука мы не нашли. Зато от трех пutorаков были записаны щелчки в слышимом звуковом диапазоне. Кроме того, почти все пutorаки издавали громкие резкие звуки, которые мы назвали «джиками» из-за их дребезжащего звучания. Записи содержали и звуки от вибрации пutorаков на барабане. Они хорошо отличались от постороннего шума как на слух, так и по изображению на экране компьютера*. Мы даже смогли оценить скорость вибрации зверьков, измерив расстояние между последовательными вибрационными пульсами, высвечивающимися на экране. Оказалось, что пutorаки вибрируют с периодичностью 160 колебаний в секунду. Мы с удивлением обнару-

жили, что периодичность вибрации строго совпадала с периодичностью дребезжания в джиках тех же самых пutorаков.

Факты и артефакты

Теперь полученные результаты надо было как следует обдумать и обсудить. Нет ли каких-то подводных камней в нашей методике исследований? А вдруг это была не вибрация, а просто дрожание от холода, голода или страха?

Все факты говорили в пользу того, что мы нашли самую настоящую вибрацию. Жарким летом 2011 г. температура в экспериментальном помещении не опускалась ниже 25°C, так что дрожание для терморегуляции можно было сразу исключить. Дрожание из-за голода тоже было невозможно, потому что всех животных как следует кормили перед экспериментами. И третью причину возможного экспериментального артефакта — страх, тоже можно исключить. Все зверьки родились в зоопар-



В незнакомой обстановке самка сразу начинает собирать детей.

* Эти звуки и видео вибрирующих пutorаков можно посмотреть в Галерее звуков животных на сайте http://www.bioacoustica.org/gallery/mammals_rus.html.

ке и привыкли к людям и к тому, что их регулярно переносят на руках. Более того, потораки вибрировали, только когда не боялись и спокойно обследовали барабан. Беспокойное животное не вибрировало, а просто спрыгивало с барабана вниз, в песчаную подстилку.

А зачем потораку вибрировать? Имеет ли это какое-нибудь значение для коммуникации между животными? Вероятнее всего, нет. Эти зверьки одиночные, ночные. Кроме того, у них есть громкие крики и сильный специфический запах. Вибрация — сигнал очень низкой интенсивности, тогда как звуки и запахи гораздо лучше приспособлены для того, чтобы сигнализировать чужаку или потенциальному брачному партнеру о своем присутствии. Наиболее вероятная гипотеза — то, что с помощью вибрации потораки могут оценивать плотность грунта. Как правило, землеройки очень плохо копают и предпочитают прятаться в щелях и чужих норах, однако потораки роют в песке собственные норы до нескольких метров длиной со ско-

ростью 1—2 см/с [3, 8]. Кроме того, потораки роют в песке маленькие ямки, до тридцати за ночь, когда ищут в песке насекомых [3]. Вероятно, вибрация тела может служить им для сейсмического исследования плотности грунта, для того чтобы избежать энергетически затратного рытья плотно слежавшегося песка.

А что известно о вибрации у других животных?

В мире животных вибрация распространена довольно широко, и особенно часто встречается среди насекомых, пауков, амфибий и рептилий [9]. Многие насекомые используют постукивание по растению или земле в качестве брачных сигналов. Встречается вибрация и среди млекопитающих. Наземные пустынные грызуны стучат лапками о землю, предупреждая других членов колонии о появлении опасности. Подземные палестинские слепыши стучат своей уплощенной сверху головой о стенку прорытого ими туннеля, чтобы прогнать чужака, на-

рушившего границы территории [10]. Но мало только передавать вибрацию, нужны также и механизмы, чтобы ее воспринимать. Обратная сторона вибрации — это сейсмическая чувствительность, т.е. то самое шестое чувство, которое позволяет пауку понять по вибрации паутины, что в нее попала муха, а хищной личинке муравьиного льва ощутить появление муравья на краю ловчей воронки [9]. Среди насекомых, к которым относятся и землеройки, способность воспринимать сейсмические волны известна для златокротов, живущих в пустыне Намиб в Южной Африке [11]. Для восприятия низкочастотной сейсмической вибрации от кочек травы, где живет их любимая пища — термиты, златокроты имеют очень сильно увеличенную косточку среднего уха — молоточек. У златокрота массой всего 20 г молоточек весит в полтора раза больше, чем у человека в 70 кг! Правда, никто никогда не видел, чтобы златокрот сам генерировал вибрации, так, как это делали наши землеройки-красавки. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 12-04-00260А.

Литература

1. *Даль В.И.* Толковый словарь живого великорусского языка. Т. III. М., 1955.
2. *Кузнецов В.И.* К экологии малой белозубки (*Crocidura suaveolens* Pall.) и пегого поторака (*Diplomesodon pulchellum* Licht.) пустыни Каракум // Терриология. Т.1. Новосибирск, 1972. С.266—276.
3. *Дубровский В.Ю., Брагин М.А., Бульчев В.П. и др.* Особенности биологии пегого поторака (*Diplomesodon pulchellum* Licht. 1823) в Волго-Уральских песках // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2011. Т.116. № 3. С.24—31.
4. *Мовчан В.Н., Шибков А.А.* Структурные особенности акустических сигналов землероек (Soricidae) // Зоол. журнал. 1982. Т.61. №11. С.1695—1705.
5. *Gould E., Negus N.C., Novick A.* Evidence for echolocation in shrews // J. Exp. Zool. 1964. V.156. P.19—38.
6. *Gould E.* Communication in three genera of shrews (Soricidae): Suncus, Blarina, and Cryptotis // Communications in Behavioral Biology. 1969. Part A. V.3. P.11—31.
7. *Siemers В.М., Schauermann G., Turni H. et al.* Why do shrews twitter? Communication or simple echo-based orientation // Biol. Lett. 2009. V.5. P.593—596.
8. *Стальмакова В.А.* К экологии пегого поторака в Кара-Кумах // Известия Туркменского филиала АН СССР. Вып.2. Ашхабад, 1949. С.65—68.
9. *Hill P.S.M.* How do animals use substrate-borne vibrations as an information source? // Naturwissenschaften. 2009. V.96. P.1355—1371.
10. *Kimchi T., Reshef M., Terkel J.* Evidence for the use of reflected self-generated seismic waves for spatial orientation in a blind subterranean mammal // J. Exp. Biol. 2005. V.208. P.647—659.
11. *Narins P.M., Lewis E.R., Jarvis J.J. et al.* The use of seismic signals by fossorial Southern African mammals: a neuroethological gold mine // Brain Res. Bull. 1997. V.44. P.641—646.

Уникальные палеонтологические территории и объекты

Ю.П.Князев

В число актуальных проблем, стоящих перед человечеством, входят изучение и охрана самых выдающихся по значимости природных и культурных достопримечательностей, которые необходимо сохранять и оберегать в течение неограниченно длительного времени, так как они будут нужны людям всегда. Это, естественно, предполагает их изучение и использование не только нынешним, но и будущими поколениями. С этой целью в 1972 г. под эгидой ЮНЕСКО принята Конвенция (ныне ратифицированная 183 государствами) об охране Всемирного культурного и природного наследия [1]. В конвенции обоснован критерий уникальной палеонтологической, геологической или геоморфологической значимости (VII критерий наследия), под которые подпадают и уникальные палеонтологические территории. В целях сохранения всемирного геологического наследия в 1996 г. Международный союз геологических наук (IUGS) начал осуществление проекта «GEOSITES» с целью выявления объектов геологического наследия (ОГН). Только в России их выделено 94. Например, к палеонтологическому типу ОГН в России относятся местонахождения вендских организмов в Архангельской обл., поздне-



Юрий Петрович Князев, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и геоэкологии Волгоградского государственного социально-педагогического университета. Научные интересы связаны с сохранением Всемирного природного и культурного наследия, ландшафтоведением, оценкой геоэкологического состояния ландшафтов бассейна Среднего Дона.

пермских тетрапод на реках Северная Двина и Мезень, неогеновой флоры Мамонтовой горы (Якутия) [2]. К сожалению, значительная часть выявленных ОГН еще не включена в список Всемирного наследия. Не включены в него пока и резерваты, охраняющие отложения криптозооя и ряда периодов фанерозоя (кембрия, ордовика, силура, перми и юры). Комитет ЮНЕСКО по Всемирному наследию ведет отбор лучших территорий по уникальности палеонтологических находок. Ряд таких территорий уже отнесен к объектам геологического наследия Земли.

В их список включена формация Исуа в Гренландии, содержащая древнейшие горные породы Земли возрастом около 3.8 млрд лет. В них найден углерод предположительно органического происхождения (что определено по соотношению стабильных изотопов C^{12} и C^{13}). Есть основания полагать, что карбонаты Исуа образовались при температурах 100–300°C, низкой кислотности и давлении до 50 атм. Схожие условия сегодня существуют вблизи жерл подводных вулканов срединно-океанических хребтов [3].

До венда многоклеточные животные крайне редко встречаются в отложениях докембрия. Уникальны хайнаньская биота (о.Хайнань) Китая (возраст 840–740 млн лет, номинируется в список Всемирного наследия) и ископаемая фауна Тиманского кряжа (возраст около 1 млрд лет). В этих местонахождениях обнаружены остатки многоклеточных животных, зачастую неопределенного систематического положения, которые не являются предками эдиакарской фауны [4].

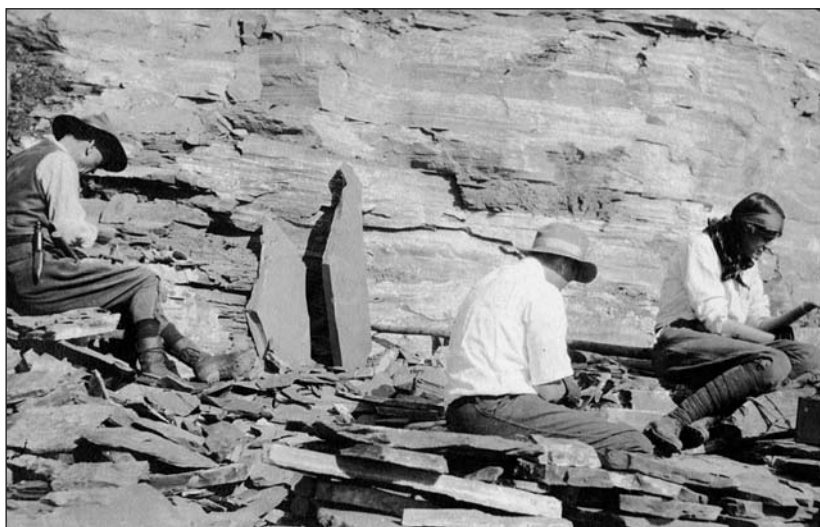
© Князев Ю.П., 2012

ной от 60 до 200 см) членистоногое — аномалокарис (*Anomalocaris*), крупнейший хищник кембрия. В обеих фаунах также обнаружены губки, брахиоподы (*Wiwaxia*), моллюски (*Odontogriphus*), гребневики, иглокожие, нематоды, приапулиды, ракообразные, трилобиты. Систематическое положение большинства организмов еще однозначно не установлено [7].

Отложения **ордовикского периода** (488.3—443.7 млн лет) развиты на всех континентах. Одно из самых известных обнажений ордовика — глинт. Это обрывистое плато (с перепадами высот до 57 м), протянувшееся вдоль южного берега Финского залива Балтийского моря до Ладожского озера. Здесь обнаружены ископаемые остатки цианобактерий, зеленых и красных водорослей, бесчелюстных рыбообразных, разнообразных трилобитов, брахиопод, мшанок, губок, брюхоногих и головоногих моллюсков, граптолитов, мечехвостов [8].

Классические разрезы **силурийского периода** (443.7—416 млн лет) изучены в Великобритании, Швеции, Северной Африке, США, Канаде и России (европейская часть, Урал, Сибирская платформа, Алтай, Тыва).

Девонский период (416—359.2 млн лет) в списке Всемирного наследия представлен провинциальным парком «Мигуаша» (Miguasha) площадью 87 га, расположенным в канадской провинции Квебек. Включен в список в 1999 г. Резерват знаменит обильными и разнообразными остатками ископаемых кистеперых рыб, обитавших в эстуарии и соленой лагуне, которые существовали на месте п-ова Гаспе в девоне. В чередующихся слоях песчаников и сланцев возрастом около 375—360 млн лет найдены представители бесчелюстных рыбообразных — эскуминапсис (остеостраки), эндейолепис и эвфанеропс (анаспидные) и пяти групп ископаемых рыб из шести, от-



Первооткрыватель кембрийских окаменелостей из сланцев Бёрджес Ч.Уолкотт и его команда за работой.

носящихся к девону: ботриолепис и плоурдостеус (плакодермы), диплакант (акантоды), хейролепис (лучеперые), голоптихия, мигуашия и скауменация (лопастеперые), эвстеноптерон (кистеперые), а также элпистостега — ближайший родственник стегоцефалов [1]. В 1859 г. геолог Дж.Дуосон впервые обнаружил здесь риниофиты (*Psilophyton princeps*). С 1842 г. в резервате найдено более 10 тыс. окаменелостей.

Каменноугольный период (359.2—299 млн лет) представлен в списке Всемирного наследия национальным парком «Скалы с окаменелостями в Джоггинсе» (Joggins Fossil Cliffs) площадью 700 га. Парк включен в список в 2008 г., он располагается в канадской про-



Ископаемые остатки девонских рыб. Шотландия.



Каменноугольные обнажения в национальном парке «Скалы с окаменелостями в Джоггинсе». Канада.

винции Новая Шотландия, на побережье залива Фанди. Здесь обнажается чередование пластов песчаников, алевролитов, глинистых сланцев и углей (возраст около 310–300 млн лет) общей мощностью около 5 тыс. м. Береговые обрывы постоянно размываются приливами, высота которых достигает до 18 м. Благодаря ценнейшим окаменелостям объект еще называют «Галапагосы каменноугольного периода». Скалы Джоггинс полнее всего отражают пенсильванскую эпоху карбона (318–303 млн лет назад). Горные породы, слагающие скалистое побережье протяженностью 14,7 км, сформировались в трех палеоландшафтах позднего карбона: эстуарии, дождевых лесах и аллювиальной равнине с пресноводными водоемами. Ископаемые остатки представлены 96 родами и 148 видами древних организмов — от рыб и моллюсков до папоротников, а также следами различных доисторических животных, в том числе и реп-



Ископаемые остатки пахиплеврозавра, найденные в парке «Монте-Сан-Джорджио». Швейцария.

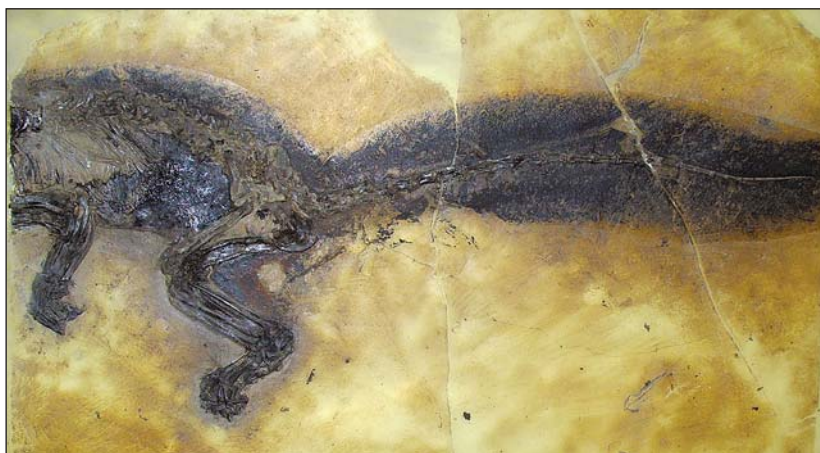
тилий. Во флоре господствовали лепидодендроны (*Lepidodendron*) и сигиллярии (*Sigillaria*), достигавшие более 10 м в высоту [2].

В список ОГН пермского периода (299–251 млн лет) на территории России включены местонахождения позднепермских тетрапод на реках Малая Северная Двина и Мезень, позднепермских насекомых и растений на р.Сояне (Архангельская обл.) и раннепермской континентальной биоты (кунгурский ярус, около 270 млн лет) в устье р.Чекарды (Пермский край), которую рассмотрим подробно.

Разрез Чекарда состоит из трех обнажений общей протяженностью около 650 м, высотой от 0,5 до 14 м. Уникально разнообразие насекомых (23 отряда, 163 вида), среди которых обнаружены представители как существующих донныне таксонов — стрекозы (три вида), прямокрылые (17 видов), гриллоблаттиды (22 вида), веснянки (11 видов), тараканы (четыре вида), равнокрылые (12 видов), так и вымерших — гипоперлиды (16 видов), мисхоптериды (восемь видов), пермотемистиды (пять видов), диафаноптериды (шесть видов), палеомантеиды (семь видов), юриниды (три вида). Чекарда — классический ориктоценоз, относящийся к кунгурскому флористическому комплексу. Для него типичны растения, характерные для Ангариды, выходцы из экваториальных, евразийских флор, космополиты и многочисленные эндемики. Обнаружено более 200 видов высших растений. Многочисленны хвощеобразные (*Paracalamites*, *Paracalamitina*) и папоротники (*Scolecopterus*, *Ptychocarpus*, *Orthotheca*, *Asterotheca* и др.). Голосеменные представлены тремя группами: птеридоспермами (Pteridospermatida, Cycadofilices, Lyginopteridopsida), кордаитами (*Rufioria*, *Lepeophyllum*, *Nephropsis*) и хвойными (*Samaropsis*, *Sylvella*, *Bardocarpus*, *Cordaicarpus*, *Cardiocarpus*) [9].

Триасовый период (251–199.6 млн лет) представлен в списке Всемирного наследия несколькими объектами. Национальные парки «Ичигуласто» (Ischigualasto) и «Талампайя» (Talampayá) общей площадью 275 тыс. га включены в список в 2000 г. Они располагаются в предгорьях Анд на территории аргентинских провинции Сан-Хуан и Ла-Риоха. В речных, озерных и болотных отложениях триаса (представленных шестью геологическими формациями) в прослоях углей найдены ископаемые остатки папоротников и голосеменных, высота ряда деревьев достигала 40 м (*Protjuniperoxylon ischigualastianus*). Фауна позвоночных (56 видов) представлена хищными (герреразавры, эорапторы) и растительноядными динозаврами, предками крокодилов (*Prestosuchus chiniquensis*) длиной до 7 м и весом до 900 кг, зверообразными терапсидами (дицинодонты) и примитивными млекопитающими размером с крысу [10].

Национальный парк «Монте-Сан-Джорджио» (Monte San Giorgio National Park), или «Гора ящериц» (площадь 850 га) включен в список Всемирного наследия в 2003 г. Это гора высотой 1096 м, расположенная к югу от швейцарского оз. Лугано, представляет собой местонахождение ископаемых остатков морских обитателей среднего триаса (возраст 245–230 млн лет). Располагавшаяся в те времена в данной местности тропическая лагуна (глубиной до 100 м) изобиловала жизнью. В ее отложениях найдены многочисленные ископаемые остатки как водных обитателей — шестилучевых кораллов, ракообразных, иглокожих, аммонитов (*Daonella*) и других моллюсков, хрящевых рыб и рептилий (плакодонтов и пахиплеврозавров), так и наземных организмов — рептилий, насекомых, растений. Мертвые организмы, опускаясь на дно лагуны, быстро перекрывались илом, а их останки со-



Ископаемые остатки млекопитающего *Kupidodon macrognatus* из карьера Месель. Германия.

хранились в битуминозных сланцах. С 1854 г. здесь найдено около 11 тыс. окаменелостей, среди которых 30 видов рептилий, 80 — рыб, сотни видов беспозвоночных. Лучшие находки хранятся в Музее палеонтологии в Цюрихе.

Юрский период (199.6–145.5 млн лет) представлен в списке ОГН местонахождениями литографических сланцев титонского века поздней юры (150–145 млн лет), расположенными близ г. Золенгофен (земля Бавария, Германия). В 1861 г. здесь были найдены ископаемые остатки «первоптицы» — *Archaeopteryx lithographica*, хранящиеся в Берлинском музее естественной истории. Позднее описана форма *Wellnhoferia grandis*, близкая к археоптериксу [11]. Из сланцев Золенгофена извлечены ископаемые остатки более чем 600 видов организмов: свыше 180 видов насекомых из 11 отрядов (жуки — 45 видов, бабочки — семь, двукрылые — два, перепончатокрылые — 12, разнообразные стрекозы, прямокрылые, таракановые); многочисленные крабы (*Eryon*, *Cycleryon*), раки (*Eryon*), мечехвосты (*Mesolimulus*); среди хрящевых рыб типичны акулы, скаты и химеры;



Останки кита подотряда Archaeoceti в национальном парке «Вади-аль-Хитан — Долина китов». Египет.

рептилии представлены морскими крокодилами (пять видов), ихтиозаврами (два вида), черепаками (один вид), несколькими видами хищных динозавров, среди птерозавров встречаются длиннохвостые рамфоринхоиды (*Rhamphorhynchus*, *Anurognathus*) и короткохвостые птеродактилоиды (*Pterodactylus*, *Ctenochasma* и др.) [12].

Меловой период (145.5—65.5 млн лет) представлен в списке Всемирного наследия парком «Дайносор», или «Динозавр» (Dinosaur National Monument) площадью 7.5 тыс. га, расположенным в канадской провинции Альберта. Включен в список наследия в 1979 г. Горные породы, сложенные преимущественно аллювиальными отложениями палеорек (общей мощностью до 600 м), были обнажены в результате пропахивания этой территории ледниками в плейстоцене. Там найдены ископаемые остатки цветковых растений (магнолий), рептилий, амфибий (лягушек, саламандр), рыб, птиц (гесперорнисов) и зубы млекопитающих (землероек, сумчатых, грызунов). Обнаружены остатки 35 видов динозавров, относящихся к 10 семействам: цератопсы (восемь видов), гадрозавры (семь видов), анкилозавры (три вида), гипсилофодонтиды (один вид), пахицефалозавры (один вид), тираннозавриды (два вида), орнитомимиды (три вида), каэногнатида (три вида), дромеозавриды (пять видов) и троодонтиды (два вида). Крупнейший экземпляр тираннозавра был найден в 1991 г., он достигал 6 м в высоту, 11 м в длину, вес животного мог достигать до 7.5 т [1].

Палеогеновый период (65.5—23 млн лет) представлен в списке Всемирного наследия двумя национальными парками. Национальный парк «Ископаемые находки в карьере Мессель» (Messel Pit Fossil Site) площадью 70 га (земля Гессен, Германия) включен в него в 1995 г. В карьере вскрыты сланцы, которые сформировались на дне пресноводного озера в бескислородных условиях. Само озеро было окружено в палеогене джунглями. В карьере найдены остатки доисторических животных хорошей сохранности, так что у некоторых экземпляров удалось даже исследовать содержимое их желудков. Среди растений, чьи остатки обнаружены в карьере Мессель, 65 видов напоминали современные, многие из которых ныне произрастают в тропиках: цитрусовые (тоддалия), пальмы (фенициты), плющи (витис) и лавры (лаврофиллум). В изобилии встречались дубы, буки, хвойные. В озере цвели водяные лилии, водились улитки и насекомые, которыми питались лягушки, жабы и саламандры (хелотритон), плавали рыбы, черепахи и крокодилы длиной до 3 м. Найдены остатки 35 видов млекопитающих, относящихся к 13 отрядам. Типичны сумчатые опоссумы, летучие мыши, грызуны (длиной до 1 м), примат эврополемур, лошади пропалеотерии, муравьед эвротамандуа и панголин эоманиса, найдены также нелетающая птица энигмавис и страус палеотис [12].

Национальный парк «Вади-аль-Хитан — Долина китов» (Wadi Al-Hitan — Whale Valley) площадью 20 тыс. га включен в список Всемирного наследия в 2005 г. Расположен он в пустыне Сахара на западе Египта, где обнаружены ископаемые остатки древних китов подотряда Archaeoceti, признанные наиболее значимыми для понимания их эволюции. Эти китообразные существовали около 40 млн лет назад и принадлежали к той стадии эволюционного развития таксона, на которой уже произошла почти полная утрата задних конечностей, имевшихся у их наземных предков. Тело древних китов приобрело обтекаемую форму, как у современных китов, но их зубная система и череп имели еще примитивное строение [1].

Неогеновый период (23—2.6 млн лет) представлен в списке Всемирного наследия национальным парком «Места находок ископаемых австралийских млекопитающих» (Australian Fossil Mammal Sites) общей площадью свыше 10 тыс. га. Включен в список в 1994 г. Парк объединяет две территории: «Риверслейг» (10.3 тыс. га) и «Наракурт» (300 га), разделенные расстоянием в 2 тыс. км. «Риверслейг» расположен на северо-западе австралийского штата Квинсленд. В лесах «Риверслейга» в миоцене обитали сумчатые млекопитающие — кенгуру валлаби и крысиные кенгуру, древние коалы (*Nimiokoala greystanesi*), гигантские утконосы (*Obdurodon dicksoni*, *O.insignis*, *Monotrematum sudamericanum*), сумчатые львы (*Priscileo pitikantensis*, *Proskellyae*), ялкараридонты (*Yalkaparidon cobeni*, *Ya.jonesi*). Предполагают, что первые сумчатые появились здесь около 16—15 млн лет назад. Из древних птиц примечательны хищные птицы (*Pengana robertbolesi*) и лирохвосты (*Menura tyawanoides*), возраст находок около 15 млн лет. «Наракурт» расположен в штате Южная Австралия и известен окаменелостями миоценового возраста (23—5.3 млн лет). Обе территории содержат палеонтологическую информацию о ключевых стадиях в эволюции фауны материка [1].

Один из уникальных разрезов Восточной Сибири, включенный в список ОГН, — Мамонтова гора, которая расположена в нижнем течении р.Алдан (Якутия). Это местонахождение ископаемой флоры и фауны неогена. В разрезе обнажаются: аллювиально-озерная толща (мощностью до 70 м) переслаивания разнозернистых песков, суглинков и галечников с растительными остатками (средний миоцен); ожелезненные разнозернистые пески мощностью 4—15 м без органических остатков (верхний миоцен); лессовидные суглинки и супеси мощностью 3—5 м с жильным льдом и остатками млекопитающих (средний плейстоцен) [13]. В ожелезненных алевролитовых конкrecиях обнаружены многочисленные отпечатки листьев, а выше по разрезу — прослойки с шишками, ветвями и стволами. Всего описано более 250 ро-

дов ископаемых растений. В условиях теплого и влажного климата миоцена произрастали сначала широколиственные и смешанные леса из бука, каштана, клена, болотного кипариса, орешника, затем темнохвойная тайга из относительно теплолюбивой североамериканской флоры: ели Волосовича, горной сосны, дуба, грецкого ореха, лещины, тсуги. Комплекс рассматривается как эталонный для миоцена севера-востока Азии, в нем присутствуют теплолюбивые и холодостойкие, древние и молодые формы. В толще встречаются многочисленные ископаемые остатки млекопитающих — шерстистого носорога, широколобого лося, мамонта, восточной лошади.

* * *

Особое место в естествознании занимает изучение эволюции человека. Значимые места находок ископаемых гоминид имеют статус культурного наследия человечества, что соответствует критерию III (демонстрация культурных традиций исчезнувших или современных цивилизаций) или IV (ландшафты, связанные с важнейшими вехами в человеческой истории) Конвенции ЮНЕСКО об охране Всемирного культурного и природного наследия [1].

Массовые находки австралопитековых (*Australopithecus africanus*) известны в ЮАР и объединены в комплекс «Колыбель человечества», расположенный в 50 км к северу от Йоханнесбурга. Здесь находится группа из 30 пещер, в том числе пещеры Стеркфонтейн, где в 1947 г. обнаружены ископаемые останки австралопитеков возрастом 2.3 млн лет. Резерват включен в 1999 г. в список Всемирного наследия под названием «Стеркфон-

тейн, Сварткранс, Кромдрай и окрестности — места находок ископаемых гоминид».

В 1974 г. в районе Аваш (Эфиопия) обнаружен самый примитивный и маленький вид австралопитековых — австралопитек афарский (*A. afarensis*) возрастом около 3.2 млн лет. Скелет женской особи получил имя Люси. В 1980 г. места находок *A. afarensis* и *Ardipithecus ramidus* внесены в список Всемирного наследия под названием «Долина нижнего течения реки Аваш».

Одни из наиболее древних стоянок австралопитеков (возраст около 2.6 млн лет) открыты в бассейнах рек Када Гона и Омо (Эфиопия): там обнаружены скелеты австралопитеков, каменные изделия (кварцевые отщепы, скребла и др.), кости диких животных. В 1980 г. стоянки внесены в список культурного наследия под названием «Долина нижнего течения реки Омо» [2].

Первой находкой человека прямоходящего (*Homo erectus*) стал яванский человек, или питекантроп (*Pithecantropus erectus*), найденный в 1891 г. голландцем Э.Дюбуа в Индонезии. В 1996 г. эта территория внесена в список Всемирного наследия под названием «Место находки ископаемых гоминид Сангиран». В 1920-х годах группа ископаемых остатков была обнаружена близ Пекина (Китай), этот вид назвали пекинским человеком (*Sinanthropus pekinensis*), в 1987 г. территория внесена в список Всемирного наследия под названием «Находки пекинского человека».

Места находок неандертальцев (*H. neanderthalensis*) в Бельгии, на Гибралтаре и Фельдгоферском гроте Неандерской пещеры близ Дюссельдорфа (Германия) пока не включены в список Всемирного наследия. ■

Литература

1. Максаковский Н.В. Всемирное природное наследие. М., 2005.
2. Князев Ю.П. Ключевые палеонтологические территории Земли как свидетельства эволюционного процесса (на примере темы «Развитие органического мира») // Биология в школе. 2012. №5. С.5—14.
3. Салоп Л.И. Геологическое развитие Земли в докембрии. Л., 1982.
4. Гниловская М.Б., Вейс А.Ф., Беккер Ю.Р. Доздиакарская биота Тимана (аннелидоморфы верхнего рифея) и ее корреляция // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т.8. №4. С.327—352.
5. Соколов Б.С. Очерки становления венда. М., 1997.
6. Малаховская Я.Е., Иванцов А.Ю. Вендские жители Земли. Архангельск, 2003.
7. Whittington H.V. The enigmatic animal *Opabinia regalis*, Middle Cambrian Burgess Shale, British Columbia // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1975. V.B271. P.1—43.
8. Короновский Н.В., Хаин В.Е., Ясаманов Н.А. Историческая геология. М., 2008.
9. Пономарева Г.Ю., Новокшинов В.Г., Наугольных С.В. Чекарда — местонахождение пермских ископаемых растений и насекомых. Пермь, 1998.
10. Князев Ю.П. Всемирное природное и культурно-природное наследие ЮНЕСКО: Учеб. справ. пос. Волгоград, 2010.
11. Курочкин Е.Н., Богданович И.А. К проблеме происхождения птиц: компромиссный и системный подходы // Известия РАН. Сер. Биол. 2008. №1. С.15—17.
12. Современная палеонтология. Методы, направления, проблемы, практическое приложение. В 2 т. М., 1988.
13. Карпунин А.М., Мамонов С.В., Мироненко О.А., Соколов А.Р. Геологические памятники природы России. СПб., 1998.

Будущее России — в согласии по времени с природой!

В прошлом году в результате отмены в нашей стране перехода на зимнее время население России оказалось в условиях режима, опережающего поясное солнечное время на 2 ч и летом, и зимой. Подобному «эксперименту» ни в одной стране мира жители никогда не подвергались. За минувшие полгода стали очевидными отрицательные социальные и медицинские последствия такого режима. По этому поводу председатель общественного Санкт-Петербургского комитета «За восстановление в России жизни по поясному времени» выступил с обращением*, в котором, в частности, говорится:

Президент Российской Федерации Д.А. Медведев признал, в отличие от многолетних бездоказательных утверждений правительства РФ, что весенние и осенние переводы стрелок часов на час вперед и на час назад вредны для здоровья людей и экономики страны. Однако в своем решении от 8 февраля 2011 г. президент РФ оставил в действии круглогодичный декретный час, а летний сдвиг стрелок часов еще на час вперед относительно декретного часа — сделал круглогодичным. При круглогодичном двухчасовом опережении природного ритма смены дня и ночи значительно возрастает длительность преждевременного, до восхода солнца, бодрствования детей и взрослых и их недосыпания. Из-за увеличения хронического недосыпания введенный президентом ритм жизни значительно хуже прежнего, несмотря на то что при новом режиме не возникает десинхроноза [рассогласования между навязанным ритмом жизни и внутренним, диктуемым биологическими часами организма. — Примеч. ред.] из-за переводов стрелок часов. Надежды народа на отмену президентом и летнего времени, и круглогодичного декретного часа, т.е. на возврат страны к поясному времени (по международной системе часовых поясов), не оправдались. Чтобы оздоровить жизнь народов России, необходимо восстановить, во-первых, отсчет времени по международной системе часовых поясов. Во-вторых, нужно вместо постоянного (в течение всего года) времени начала рабочего (учебного) дня зимой начинать рабочий день позже, чем летом. Совместное применение поясного



(для отсчета времени) и местного солнечного времени (для организации жизнедеятельности населения) без переводов стрелок часов — вот экологическая основа здорового образа жизни. Поэтому Санкт-Петербургский общественный комитет «За восстановление в России жизни по поясному времени», опираясь на п.2 ст.21 Конституции РФ, требующий согласия граждан на любые эксперименты с их здоровьем, на федеральный закон «Об общественных объединениях» от 19.05.1995 (ФЗ-82), на сотни обращений граждан в наш адрес, требует в 2012 г. перевести стрелки часов на 2 ч назад, т.е. отменить круглогодичный декретный час, не вводить летнее время — и таким образом

вернуть страну к постоянному отсчету времени по международной системе часовых поясов. Для реализации совместного применения поясного и местного солнечного времени необходимо рекомендовать в Трудовом кодексе РФ работодателям и организаторам дневной деятельности населения зимой начинать рабочий день (в каждом конкретном районе часового пояса) спустя полтора-два часа после самого позднего в году времени восхода Солнца, 22 декабря (для Москвы и С.-Петербурга это 9 утра по поясному времени). В летнее же полугодие работу (учебу) начинать на час-полтора раньше, чем зимой. В Заполярье работу следует начинать: зимой — в 10, а летом в — 9 часов утра по поясному времени. Таким образом, для оздоровления общества крайне необходимым в качестве первоочередной меры ВОЗВРАТ К ПОЯСНОМУ СОЛНЕЧНОМУ ВРЕМЕНИ.

Председатель
Санкт-Петербургского комитета
В.П.Апрелев

* Мы обратились к специалистам сомнологам с просьбой прокомментировать это заявление.

По поводу нового исчисления времени

В.М.Ковальзон,

доктор биологических наук

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

В.Б.Дорохов,

доктор биологических наук

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

Москва

Хроническое недосыпание и вызванная им избыточная дневная сонливость — бич современной цивилизации. Специальная общественная комиссия США «Сон, катастрофы и социальная политика» еще в 1988 г. пришла к выводу, что быт и характер производственной деятельности человека в условиях научно-технической революции (управление автомобилем, общение с компьютером и т.д.) диктуют необходимость постоянного поддержания бодрости и высокого уровня alertности (готовности к действию) большую часть времени суток. Необходимой предпосылкой этому служит строгое соблюдение жестких требований гигиены сна. В то же время образ жизни современного человека плохо согласуется с этими требованиями (залитые электрическим светом ночные города — так называемый эффект Эдисона, постоянный шум, поздние передачи по телевидению и т.д.). В результате, как считает медицинская и научная общественность, возникают сонливость и утомление, вызванные в том числе и небольшим хроническим недосыпанием, столь характерным для современного урбанизированного человечества. Это чревато весьма серьезными последствиями в производственной сфере, на транспорте и т.п. и даже может быть одной из

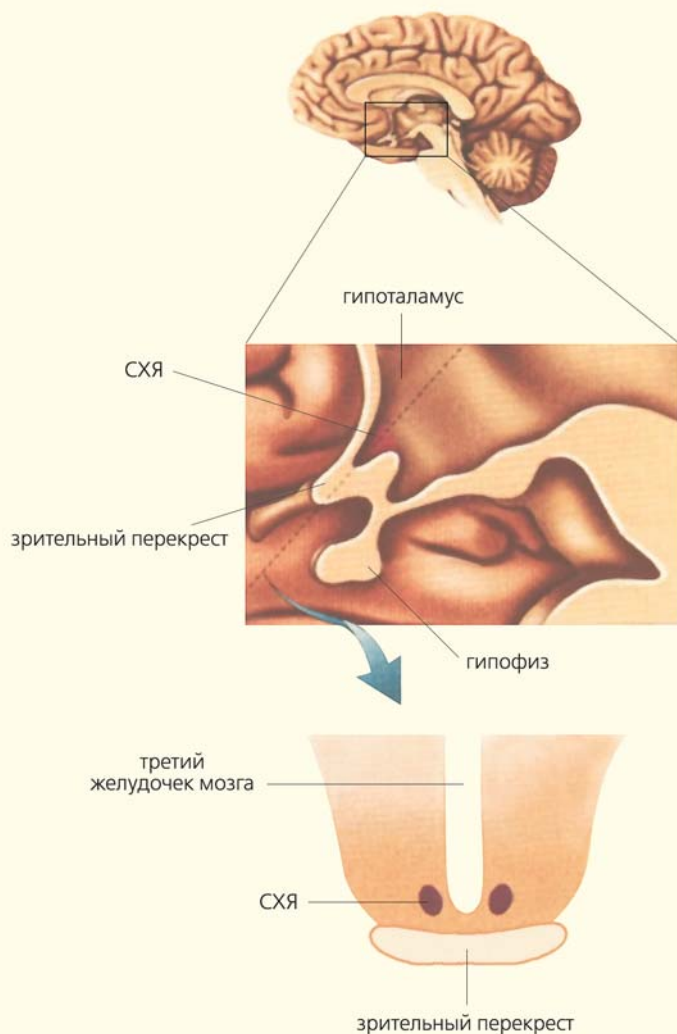
важнейших причин (скрывающихся за неопределенным термином «человеческий фактор») целого ряда инцидентов и катастроф, среди которых западные источники называют такие, как аварии на атомных электростанциях «Тримайл Айленд» в США и в Чернобыле, гибель «Челленджера» и др. Таковы социальные последствия недосыпания ночью и избыточной сонливости днем.

С медицинской же и хронобиологической сторон показано, что хронически некачественный или недостаточный сон усиливает дневную сонливость и вызывает обширный спектр изменений всех нервных и нейроэндокринных функций, включая повышенный уровень гормонов стресса, когнитивные и обменные нарушения, снижение иммунитета, повышение риска онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний. А наиболее частые причины нарушений суточного и сонного ритмов и их дальнейшей дестабилизации — это избыточная световая стимуляция и активное поведение в ночное время. При этом нарушается работа биологических часов организма: разрушаются связи либо между местными осцилляторами в разных тканях, либо между центральным осциллятором — супрахиазмальным ядром (СХЯ) гипоталамуса — и остальным организмом. Эти процессы лежат в основе дальнейших разрушений нейро-

эндокринных и поведенческих ритмов, которые проявляются и у здоровых людей, но особенно характерны для больных психиатрическими и неврологическими заболеваниями [1].

В этих условиях социальная политика государства должна быть направлена на устранение или по крайней мере (в тех случаях, когда это не представляется возможным) минимизацию всех внешних факторов, нарушающих ночной покой и сон населения и способствующих усилению дневной сонливости и утомления. К числу таких факторов относятся всякого рода искусственные режимы отдыха и сна — как с постоянным опережением астрономического поясного солнечного времени, так и с ежевесенним введением так называемого летнего времени.

Немного истории. Так называемое декретное время, круглый год опережающее поясное солнечное время на 1 ч, ввели в СССР в 1930 г. — как тогда писали, «для более равномерного потребления электроэнергии». Затем, в 1981 г., добавили еще и летнее-зимнее время, и в результате получилось, что жители каждого часового пояса нашей страны зимой опережали солнце на час, а летом — на два. Сомнологи — ученые и врачи, зная, что перевод часов (особенно весенний) негативно сказывается на здоровье людей, выступали против этого решения.



Расположение супрахиазмальных ядер (СХЯ) в мозге человека. Вверху — продольный срез мозга; часть, отмеченная прямоугольником, показана в увеличенном виде. СХЯ — пара крошечных скоплений нейронных тел, расположенных над зрительным перекрестом по обе стороны третьего желудочка мозга. В каждом ядре по 10 тыс. нейронов, лежащих на пути от зрительного рецептора в сетчатке до регуляторных центров гипоталамуса.

Экспериментальные исследования перехода на летнее время. Медико-биологические последствия небольших сдвигов биоритмов человека, возникающих при трансмеридиональных перелетах на один-два часовых пояса или при переходе на летнее время и возвращении к зимнему, изучены недостаточно — из-за значительных колебаний, вызываемых социальными и индивидуальными причинами, «маскирующих» эти сдвиги.

Тем не менее в последние годы получены убедительные данные о негативных последствиях именно весеннего перехода на летнее время (англ. *daylight saving time, DST*) для здоровья и самочувствия значительной части населения, сохраняющихся на протяжении по крайней мере нескольких дней. Так, мексиканские авторы отмечали, что значительная часть населения (до 40%) испытывает трудности при засыпании и пробуждении после

перехода к летнему времени, которые сохраняются у разных людей от нескольких дней до недель [2]. Финские исследователи в 2000-х годах показали, что даже у здоровых испытуемых переход на летнее время нарушает цикл бодрствования-сна. Это особенно заметно у «короткоспящих» и «сов»: сокращается длительность сна, ухудшается его качество [3–5]. Немецкие ученые также подтвердили, что тонкая сезонная адаптация к изменению светового дня, присущая человеку, нарушается при переходе к летнему времени, особенно у «сов» [6]. У школьников в первые дни после перехода к летнему времени усиливается дневная сонливость, также более выраженная у «сов» [7]. Утренний пик случаев возникновения инсульта смещается при переходе к летнему времени [8]. Широкий резонанс получили статистические данные шведских авторов о значительном повышении риска инфаркта миокарда в первую неделю после перехода к летнему времени [9, 10].

Нейробиологические последствия постоянного опережения поясного солнечного времени. Как известно, периодичность хода биологических часов человека, расположенных в так называемых супрахиазмальных ядрах (СХЯ) гипоталамуса, составляет у большинства людей около 25 ч, и поэтому нуждается в ежедневной «подстройке» [11]. Такую корректировку осуществляет солнечный свет: он возбуждает особую группу светочувствительных клеток сетчатки глаза, содержащих специальный фотопигмент — меланопсин (рис.). Эти клетки, в свою очередь, активируют нейроны СХЯ; они выделяют вещества, запускающие сложные каскады внутриклеточных молекулярных реакций, приводящих к торможению «гормона тьмы» — мелатонина — и длительному подавлению активности часовых генов [11, 12]. Именно таким образом солнечный свет создает «подгонку», приурочивание мо-

лекулярных часов организма к местному световому циклу. Специальные исследования показали, что обычный электрический свет из-за его спектрального состава в этом отношении малоэффективен.

Таким образом, пробуждение после восхода солнца — необходимый физиологический элемент хорошего самочувствия человека в течение дня и нормального функционирования всех систем организма. Однако при круглогодичном двухчасовом опережении природного ритма смены дня и ночи длительность преждевременного, до восхода солнца, бодрствования и детей, и взрослых значительно возрастает. Это заметно ухудшает качество жизни и состояние здоровья населения нашей страны.

Неоднократно пытались создавать искусственные источники света, имитирующие солнечный, которые могли бы в известной степени сгладить остроту этой проблемы. Однако все

такие источники, предлагаемые для коммерческого использования в настоящее время, либо слишком дороги, либо недостаточно эффективны и потому пока не получили широкого распространения.

Профессиональное сообщество отечественных специалистов — секция сомнологии Физиологического общества им.И.П.Павлова РАН, которое мы представляем, — поддерживает инициативу Санкт-Петербургского общественного комитета, руководимого В.П.Апрелевым, по восстановлению в России жизни по поясному солнечному времени. Все приведенные данные говорят, что не искусственные режимы исчисления времени, а только постоянное пребывание человека в данном часовом поясе безо всяких опережений и периодических сдвигов относительно Солнца служит необходимым условием для поддержания здоровья, бодрости и работоспособности людей [13].

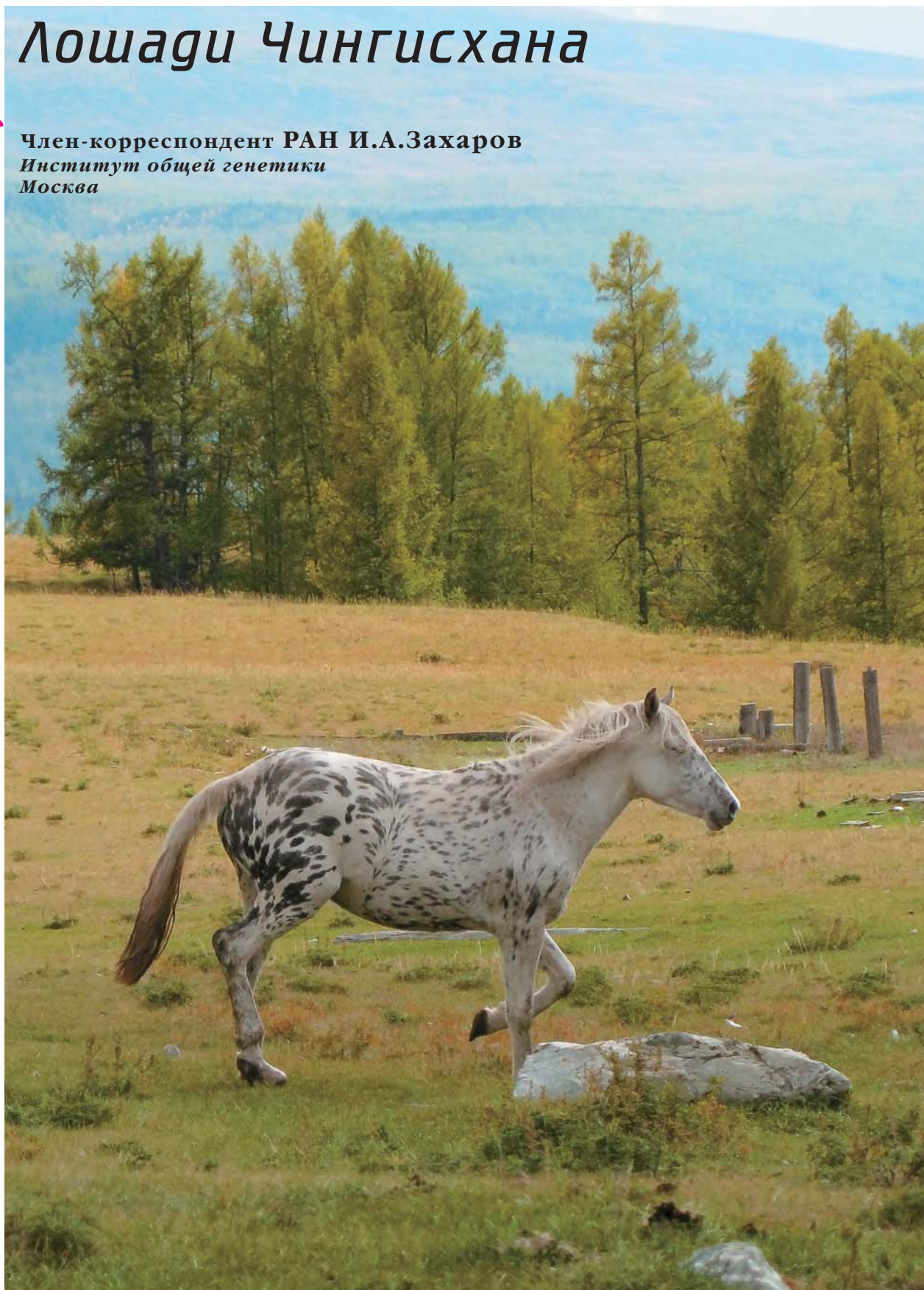
Что касается рекомендуемых комитетом Апрелева двух различных местных режимов работы/учебы — зимнего и летнего, то, в отличие от единого летнего/зимнего времени, их можно вводить плавно, меняя, скажем, время начала рабочего дня в начале на полчаса, а через неделю — еще на полчаса. Для малышей можно применять и более плавное изменение графика начала работы детских садов и младших классов школы — по 15 мин в неделю в течение месяца. А возвращение к поясному солнечному времени также следовало бы сделать наименее травмирующим население способом — в два этапа: осенью 2012 г. вернуть зимнее время, переведя часы на час назад. Таким образом, население России вернется к декретному времени, при котором оно жило более полувека. А осенью 2013 г. — еще раз проделать ту же операцию, переведя часы на 1 ч назад, чтобы окончательно перейти к поясному солнечному времени. ■

Литература

1. Wulff K., Porcheret K., Cussans E., Foster R.F. Sleep and circadian rhythm disturbances: multiple genes and multiple phenotypes // *Current Opinion in Genetics & Development*. 2009. V.19. P.237–246.
2. Valdez P., Ramírez C., García A. Adjustment of the sleep-wake cycle to small (1–2 h) changes in schedule // *Biological Rhythm. Research*. 2003. V.34. №2. P.145–155.
3. Labti T.A., Leppämäki S., Lönnqvist J., Partonen T. Transition to daylight saving time reduces sleep duration plus sleep efficiency of the deprived sleep // *Neuroscience Letters*. 2006. V.406. P.174–177.
4. Labti T.A., Leppämäki S., Ojanen S.-M., Haukka J. et al. Transition into daylight saving time influences the fragmentation of the rest-activity cycle // *Journal of Circadian Rhythms*. 2006. V.4. P.1 (doi: 10.1186/1740-3391-4-1).
5. Labti T.A., Leppämäki S., Lönnqvist J., Partonen T. Transitions into and out of daylight saving time compromise sleep and the rest-activity cycles // *BMC Physiology*. 2008. V.8. P.3 (doi: 10.1186/1472-6793-8-3).
6. Kantermann T., Juda M., Mrovenchik M., Roenneberg T. The human circadian clock's seasonal adjustment is disrupted by daylight saving time // *Current Biology*. 2007. V.17. P.1996–2000.
7. Schneider A.M., Randler C. Daytime sleepiness during transition into daylight saving time in adolescents. Are owls higher at risk? // *Sleep Medicine*. 2009. V.10. №9. P.1047–1050.
8. Foerch C., Korf H.-W., Steinmetz H., Sitzer M. Abrupt shift of the pattern of diurnal variation in stroke onset with daylight saving time transitions // *Circulation*. 2008. V.118. P.284–290.
9. Janszky I., Ljung R. Shifts to and from daylight saving time and incidence of myocardial infarction // *The New England Journal of Medicine*. 2008. V.359. №18. P.1966–1968.
10. Janszky I., Ahnve S., Ljung R., Mukamal K.J. et al. Daylight saving time shifts and incidence of acute myocardial infarction — swedish register of information and knowledge about swedish heart intensive care admissions (RIKS-HIA) // *Sleep Medicine*. 2012. V.13. №3. P.237–242.
11. Ковальзон В.М. Основы сомнологии. Физиология и нейрохимия цикла бодрствование-сон млекопитающих. М., 2011.
12. Ковальзон В.М. Мелатонин — без чудес // *Природа*. 2004. №2. С.12–19.
13. Апрельев В.П. Время, стрелки часов и наше здоровье. М., 2006.

Лошади Чингисхана

Член-корреспондент РАН И.А.Захаров
Институт общей генетики
Москва



В поездке по Алтаю мы остановились в Акташе, поселке на середине Чуйского тракта. Наш маленький «Рено» был непригоден для езды по дорогам Улаганского р-на, и мы ждали, когда за нами придет обещанный внедорожник. Путь лежал через перевал, где, как принято, кусты украшены ленточками. Здесь они белые, в Туве — разноцветные, а в Бурятии — голубые. Мы ехали посмотреть местных лошадей, аборигенов алтайской породы, сохранившихся в более или менее в чистом виде именно в этом районе. Пригласил нас хозяин табуна — рыжеволосый и светлоглазый теленгит, представитель местного племени алтайцев.

В загоне, к которому мы подъехали, находилось десятка полтора лошадей самых разных мастей — вороных, гнедых, игреневых. Среди всего разнообразия окрасок и сочетаний цветов (когда у лошади тело одного цвета, а грива и хвост — другого) выделялись чубарые. Эту масть, у которой на белом фоне черные или коричневые пятна, за рубежом называют леопардовой. В России, кроме как на Алтае, таких лошадей, видимо, больше нигде нет. Редки они и в Европе, а в США рассказ участника нашей поездки Юрия Столповского о чубарых вызвал большой интерес.

В Улаганском р-не, особенно в удаленных его частях, сохранились и другие аборигенные породы — овец и рогатого скота. Здесь надо сказать, что с 1930-х годов работники Министерства сельского хозяйства, да и ученые из Академии сельскохозяйственных наук (такие, к сожалению, еще остаются) настойчиво пытались улучшать местный скот путем гибридизации с зарубежными породами. В результате такой метисации уникальные отечественные породы, отлично приспособленные к трудным местным условиям содержания и



На перевале. Хозяин чубарых лошадей.

кормления, были генетически уничтожены. Помеси первого поколения, действительно, показывали повышение продуктивности, но в последующих поколениях животные часто под-

вергались разнообразным болезням и теряли полезные качества своих предков. Но в Улаганском р-не Горного Алтая местный скот сохранился. Рассказывают, что, когда «улучшатели»



Табун алтайских лошадей.

Заметки и наблюдения



Чубарая и пара рыжих.



Изображения леопардовых лошадей в пещере Пеш-Мерль (по: Bandi H.G. et al. L'âge de pierre. Quarante millenaires d'art pariétal. Paris, 1960).

появлялись и здесь, местные крестьяне отгоняли скот в недоступные для них горные леса. Так, в частности, была спасена и алтайская чубарая.

В истории генетики эти лошади появлялись по крайней мере дважды. Один из крупнейших генетиков середины XX в., Феодосий Добржанский, прославившийся своими трудами в США (там его фамилия писалась Добржанский), в 1920-х годах работал в Ленинградском университете. С группой сотрудников и студентов в 1926—1927 гг. он участвовал в экспедициях в восточный Казахстан, где проводилось обследование местного скота*. Там Добржанский изучил лошадей Семиреченской обл. и одну из первых своих публикаций по генетике он посвятил наследованию мастей [1].

Добржанский различал чубарых и тигровых лошадей: у первых на белом фоне — круглые темные пятна, а у вторых — беспорядочно расположенные темные «мазки». Добржанскому удалось собрать материал о харак-

тере наследования этих мастей; он наблюдал 12 семей, в которых либо кобыла, либо жеребец, либо оба были тигровыми, и 21 подобную семью чубарой масти; описал масть жеребенка от соответствующей родительской пары. На основании своих результатов заключил: тигровая масть определяется доминантным геном D, а чубарая — рецессивным t. Сохранившиеся сейчас алтайские лошади состоят, вероятно, в родстве с лошадьми восточного Казахстана, которых разводили на этой территории в начале прошлого века в Семиречье — области, прилегающей к Алтаю.

Недавно чубарые (леопардовые) лошади стали предметом одной сенсационной публикации. Дело в том, что в 1922 г. во Французских Пиренеях были открыты доисторические рисунки на стенах пещеры Пеш-Мерль. Среди весьма реалистично изображенных животных, в том числе мамонтов и северных оленей, были дикие лошади, как одноцветные, так и пятнистые. Их нарисовали задолго до одомашнивания лошадей, а поскольку чубарая масть считалась признаком домашним, изображенные признавались

фантазией палеолитических художников.

В 2011 г. группа авторов описала результаты изучения ДНК древних диких лошадей [2]. Выделив из сохранившихся костей ДНК, определили варианты девяти генов, от которых зависит масть лошади, в том числе присутствие гена *LP* — гена леопардовой (чубарой) окраски (так теперь обозначают этот ген). Оказалось, что имелся он у шести европейских лошадей, но отсутствовал у сибирских. Значит, изображенные на стенах пещеры Пеш-Мерль лошади леопардовой масти действительно существовали и не были фантазией древних художников. Однако вряд ли они были предками чубарых лошадей Алтая. Одна и та же масть может возникать повторно и независимо — как результат генетических изменений (мутаций).

Улаганцы рассказывают, что в свое время таких чубарых лошадей использовали гонцы Чингисхана. Яркая, хорошо заметная и в сумерки, и на большом расстоянии масть чубарых служила опознавательным знаком, как сейчас синяя мигалка на автомобиле: останавливать проезжающего всадника — не смей! ■

* См.: Наука не имеет границ. К 100-летию со дня рождения Ф.Г.Добржанского // Природа. 2000. №12. С.59—64.

Литература

1. Добржанский Ф.Г. К вопросу о наследовании мастей у киргизской лошади // Изв. Бюро по генетике и евгенике. 1927. Вып.5. С.79—108.
2. Pruost M. et al. Genotypes of predomestic horses match phenotypes painted in Paleolithic works of cave art // Proc. Natl. Ac. Sci. 2011. V.108. №46. P.18626—18630.

Маркел Вильгельмович Ненцкий

Ю.П.Голиков,

кандидат биологических наук

А.П.Дыбовский,

кандидат медицинских наук

Институт экспериментальной медицины РАМН

Санкт-Петербург

В 2011 г. исполнилось 120 лет со дня организации лаборатории физиологической химии Императорского института экспериментальной медицины (ИИЭМ) и 110 лет со дня кончины Маркела (Марцела) Вильгельмовича Ненцкого, крупнейшего биохимика второй половины XIX в. Он принадлежал к числу ученых, заложивших фундамент современной биохимии. Начинаясь же его научная деятельность в период, когда эта наука только зарождалась как самостоятельная дисциплина — в недрах смежных отраслей естествознания: химии и физиологии. В научных изысканиях М.В.Ненцкого оба эти источника, питавшие молодую физиологическую химию (так ее тогда называли), гармонично слились: классическая подготовка по органической химии, полученная под руководством А.Байера в Ремесленной (Промышленной) академии Берлина (1870—1872), была, по мнению В.А.Энгельгардта [1], оплодотворена могучим влиянием физиологического мышления И.П.Павлова.

Марцел Ненцкий родился 15 января 1847 г. (ст. ст.) в родовом имении Бочки (Boczki) Калишской губернии Царства Польского. У его отца Вильгельма Ненцкого и матери Катаржины Сервачыньска было еще 6 детей. Время окончания им гимназии в Петркове и поступления на философское отделения Ягеллонского университета в Кракове

(1863) пришлось на момент январского освободительного восстания в Польше. Вместе с братом Адамом он не остался в стороне и примкнул к восставшим. После подавления восстания Ненцкий уехал в Дрезден, с апреля 1864 г. изучал философию в Йенском, а с осени 1865 г. — ее же в Берлинском университете. Летом 1867 г. он перевелся на медицинский факультет Берлинского университета, который окончил в 1870 г. Вероятно, именно в это время он перешел в кальвинизм. В студенческие годы у Ненцкого сформировались главные интересы его будущей научной деятельности, направленные на изучение химизма живых объектов.

Первую научную работу он выполнил и опубликовал за год до окончания университета. Она посвящена источникам образования в организме животных сахаров и результатам исследования мочевины. В этой работе автор ставит ключевые вопросы: из чего и каким образом образуется в теле животного мочевины, известная уже к тому времени как основной продукт всего азотистого обмена. На основе безупречных по постановке и убедительности опытов студент смело выступает с принципиально новым для того времени представлением, идущим вразрез с господствовавшими взглядами на происхождение мочевины. Он отвергает общепринятое в то время мнение, что мочевины возникает из предшествующих в молекуле белка группировок, т.е. что она образуется путем



Маркел Вильгельмович Ненцкий — биохимик и патолог, доктор медицины *honoris causa*, член Германского химического общества (1870), профессор Бернского университета (1872), действительный член Императорского института экспериментальной медицины (ИИЭМ), заведующий лабораторией физиологической химии ИИЭМ, член Русского физико-химического общества (1891), член-корреспондент медицинских академий в Риме, Турине и Париже, член Королевской академии наук в Кракове, почетный член Королевской академии в Упсале и т.д.

простого распада белка. Ненцкий вместо этого выдвигает и отчетливо формулирует идею, что «образование мочевины, несомненно, в конечном счете представляет собой синтетический процесс».

Такое утверждение было сделано в период, когда ученые вообще склонны были приписывать животному организму чрезвычайно ограниченные способности к синтезу, считая, что это свойственно лишь растениям. Через 20 с лишним лет он вновь вернулся к тому же вопросу, чтобы в совместном с И.П.Павловым и коллегами исследовании, обогащенном новыми физиологическими подходами, полностью подтвердить правильность своих самых ранних научных выводов, расширить и уточнить их. На склоне лет он с полным правом гордился, что проделал за свою жизнь многим более тысячи элементарных органических анализов.

В 1870 г. Ненцкий защитил докторскую диссертацию на тему «Окисление ароматических соединений в организме животных». В ней отразились его незаурядная наблюдательность, смелость в выборе тематики принципиального значения, умение делать широкие обобщения из результатов удачно выбранных, хорошо продуманных опытов. Далее он неоднократно и систематически возвращается к этой теме. Вместе с Н.О.Зибера-Шумовым им был разработан биохимический тест, позволяющий путем измерения количества окисляющегося в теле животного бензола судить об интенсивности окислительных процессов, учитывая потенции организма. Ненцкий применил его для исследования ряда заболеваний и нашел, что при лейкемии, при фосфорном отравлении, под действием наркотиков резко снижается окислительная способность организма, а при диабете интенсивность окислительных процессов не нарушается, и поэтому локализацию нарушения обмена надо искать на

самых первых этапах превращения углеводной молекулы. Также вместе с Зибера-Шумовой был разработан метод обнаружения уробилина в моче, основанный на выявлении характерной полосы поглощения при спектрофотометрии мочи, к которой добавлена серная кислота. Этот метод получил название *проба Ненцкого—Зибера*.

Научно-педагогическая деятельность Маркела Вильгельмовича была исключительно разносторонней и продуктивной. Она охватывала обширное поле — от чистой органической химии до инфекционной патологии. Обрисовать ее в кратком очерке не представляется возможным, поэтому мы ограничимся лишь сжатым обзором важнейших направлений его творчества в фундаментальных исследованиях, научно-практической и организаторской деятельности в Швейцарии и России.

В Швейцарии

Через год по окончании Берлинского университета его пригласили на должность ассистента кафедры патологической анатомии Университета Берна, затем он стал приват-доцентом, а через год — профессором медицинской химии. Пребывание в Швейцарии ознаменовалось для молодого ученого переменами в личной жизни: 30 августа 1873 г. он женился на Марии-Елене Шульцен, сестре своего приятеля Оттона, которую знал со студенческих времен, их свадьба состоялась в Берлине. Вскоре после бракосочетания они вернулись в Берн, где в июне 1874 г. у них родился сын Леон. Ненцкий, занятый преподаванием и исследованиями, мало времени уделял супруге, и она вернулась из Берна в Берлин, который был ее родным городом. Однако отношения между ними остались корректными и даже дружескими, они переписывались, его последнее

письмо из Санкт-Петербурга было написано за день до смерти ученого. Ненцкий сохранял близкие отношения и с сыном, следил за его обучением на медицинском факультете Университета Берна, а позднее — и за научной работой.

С 1877 г. Ненцкий — ординарный профессор созданной для него кафедры физиологической химии и руководитель Медико-химического института Бернского университета. В середине 1880-х годов он вместе с семьей получил гражданство Бернского кантона. В 1888 г. ему отвели помещение в новом здании Патологического института, где он как профессор бактериологии стал читать лекции до своего отъезда в Санкт-Петербург. В этот период он был лично знаком и состоял в переписке со своими коллегами по Бернскому университету: Э.Т.Кохером, К.Г.Кронекером, Г.Сали и многими другими известными учеными. В Берне начала складываться его научная школа, к нему стекалось много учеников из различных стран, в том числе и из России.

В 1871 г. вышла первая работа Ненцкого по органической химии, открыв серию публикаций по исследованию мочевой кислоты. Далее в 1876 г. Маркел Вильгельмович впервые установил наличие в белковой молекуле изомерных лейцинов. Он получил из продуктов распада белков гуанамины двух изомерных валерьяновых кислот — продукты «окислительного превращения» изомерных лейцинов. Так *впервые* была установлена структурная изомерия аминокислот в белковой молекуле. Несмотря на приоритет в установлении этого факта и на выход его специальной работы «К изучению лейцинов» (1876), открытие изомерного лейцина до сих пор приписывается Ф.Эрлиху, а Ненцкий даже не упоминается.

Многие свои работы Ненцкий выполнял по тематике, близкой к запросам медицин-

ской практики и фармакологии. Так, в качестве средства, дезинфицирующего кишечник, он в 1883 г. синтезировал противоглистное вещество *салол* (фенилсалицилат). Благодаря эфиробразованию им было достигнуто уменьшение токсичности и устранение раздражающего свойства фенола и салициловой кислоты методом постепенного отщепления в кишечнике. «Принцип салола Ненцкого» и сейчас используется при синтезе лекарственных средств. Эта методика, по сути, — один из первых опытов создания пролекарств.

В ряду отдельных соединений, биохимическое значение которых изучено Ненцким, определенного внимания заслуживают *индол* и *скатол*, полученные из продуктов гнилостного разложения белков. Путем озонирования он превратил индол в *индиго* (приоритет Ненцкого в этом вопросе признал А.фон Байер в 1900 г.). Исключительное значение имеют работы по красящему веществу крови и листьев, т.е. по гемоглобину и хлорофиллу, начатые им в Швейцарии. Они вошли в золотой фонд мировой науки. Э.Э.Мартинсон [2] справедливо считал Ненцкого основоположником современной химии порфириновых веществ. Первая работа в этой области была выполнена совместно с Зибер-Шумовой (1884).

Находясь в политическом изгнании, Ненцкий поддерживал связь с родиной, поэтому Берн стал своеобразным зарубежным центром польской и российской научной мысли. В его лаборатории работали многие соотечественники, в том числе и сестры Шумовы: Надежда Зибер-Шумова была неизменной помощницей Маркела Вильгельмовича на протяжении всей его научной деятельности, а Екатерина работала в Санкт-Петербурге ассистенткой Павлова. Через сестер Шумовых уже в конце 1880-х Ненцкий налаживает контакт с Павловым [3, 4].

В Санкт-Петербурге

Летом 1890 г. Ненцкий принял приглашение попечителя ИИЭМ принца А.П.Ольденбургского — организовать и возглавить лабораторию физиологической химии. Через 10 лет она стала отделом химии (а точнее, биохимии). В следующем году Ненцкий приехал в столицу России с учениками: Н.О.Зибер-Шумовой, С.К.Дзержговским, И.А.Залесским, М.А.Ганом и И.М.Цумпфом. Первоначально он поселился в доме для сотрудников на территории ИИЭМ, а в дальнейшем снял квартиру на Большом проспекте Петербургской стороны в доме №54.

5 июня 1891 г. Маркел Вильгельмович стал действительным членом ИИЭМ, первого в России исследовательского центра в области биологии и медицины, а 12 декабря на общем собрании Русского физико-химического общества Ненцкого избрали в его члены.

Собственно, с приезда в столицу и «начинается новая эпоха в жизни и деятельности М.В.Ненцкого, посвященная преимуществу научным интересам России», — отмечала газета «Новое время» от 5 (17) марта 1897 г. в статье, посвященной 25-летию научной и педагогической деятельности ученого.

Лаборатория химии начала систематическую работу 23 июня 1891 г., когда еще временно размещалась в главном деревянном здании ИИЭМ. Ненцкий немедленно приступил к составлению технического задания для будущего лабораторного корпуса. С учетом его рекомендаций известный архитектор Ф.Л.Миллер создал проект, по которому здание возвели в рекордные сроки и сдали в эксплуатацию в декабре 1892 г. Это стало возможным из-за того, что на его проектирование, строительство и оборудование были использованы деньги, пожертвованные ИИЭМ банкирами Л.Бродским, Г.Гинцбургом, А.Заком и И.Вавельбергом. К благотворитель-

ной акции их привлек принц Ольденбургский. С тех дней фронтон корпуса украшает сохранившаяся надпись «Химическая лаборатория».

Приглашение в ИИЭМ было переломным моментом в жизни известного ученого, зарекомендовавшего себя к тому времени выдающимися исследованиями. Дело не только в том, что для того чтобы попасть в Санкт-Петербург, принц получил специальное разрешение у Александра III на въезд в страну бывшего повстанца. Здесь ученый нашел несравненно лучшие материалы возможности для разветвления исследований, нежели он имел в Берне. Принц предложил Ненцкому оклад в 3000 р., а также 1000 р. столовых и персональную надбавку в 2000 р. Другие руководители подразделений персональной надбавки не получали.

В Институте также формировалась качественно новая атмосфера первого в России научно-центра по медицине и биологии, в котором занимались исключительно исследовательской деятельностью. С разрешения принца только Павлов продолжал заведовать кафедрой фармакологии (а с 1895 г. — физиологии) в Императорской военно-медицинской академии. Имело значение и то, что создание ИИЭМ положило начало институционализации основных дисциплин биологии и медицины. Ведь принц при организации Института кроме Ненцкого, привлек лучших исследователей тех лет, которые возглавили научные подразделения: С.Н.Виноградского (бактериология), Н.В.Ускова (патологическая анатомия), И.П.Павлова (физиология), К.Я.Гельмана (ветеринария) и Э.Ф.Шперка (дерматовенерология).

Следует отметить, что штатных научных сотрудников в подразделениях было не более двух-трех человек, но имелись «рабочие места», на которые принимали практикантов или стажеров, желающих освоить новые мето-



Чествование 50-летия со дня рождения и 25-летия научно-педагогической деятельности М.В.Ненцкого в лаборатории химии ИИЭМ (март 1897 г.), Ненцкий — в первом ряду, в центре, сидит между дамами.

дики или выполнить часть диссертационной работы за плату в 25 р. годовых. Причем у Ненцкого в лаборатории наряду с медиками работали также ветеринарные врачи и фармакологи. Ежегодно в среднем экспериментальной работой занималось около 25 человек. Как правило, за год было невозможно выполнить весь объем диссертационного исследования (докторского или магистерского), и работа продолжалась около 2–3 лет. В лаборатории работали не только наши соотечественники. Было много выходцев из Царства Польского, и с первого года приезжали иностранцы, привлеченные возможностью работать под руководством известного ученого: М.А.Ган (Германия), Л.Рековский и Г.Мануйлов (Австрия), И.М.Цумпфт и А.Бляштейн (США) и др. Здесь проходили стажировку и сотрудники ИИЭМ, которых интересовала биохимия: С.Н.Виноградский, А.А.Владимиров, В.Г.Ушаков, С.С.Салазкин, Ф.Я.Чистович и др. Общее

число такого рода практикантов и стажеров только при жизни профессора перевалило за 200.

Прибыв в столицу, Ненцкий и его сотрудники почти сразу же приступили к работам, которые начали еще в Берне: исследованию химии порфиринов, биосинтеза мочевины, а также ферментов бактерий, вызывающих разложение аминокислот. Тесное сотрудничество с Павловым в значительной мере способствовало разрыванию исследовательских талантов Маркела Вильгельмовича, обогатило его творчество новыми экспериментальными подходами к разрешению коренных проблем химической физиологии. Уже в 1892 г. он совместно с Павловым, Ганом и В.Н.Массеном выполнил первое в институте комплексное физиолого-химическое исследование. Ими было показано, что образование мочевины происходит в печени, но не только в ней, а также что непосредственным источником мочевины служит ам-

миак. Далее Ненцкий вместе с Павловым и Залесским изучал роль печени в образовании мочевины. Исследовалось происхождение аммиака в организме. В итоге они предложили *теорию синтетического образования мочевины у млекопитающих*. Ненцкий также провел работы с производным мочевиной кислоты — *индолом*. Вместе с Зибер-Шумовой он предложил способ получения оксикетонов из жирных кислот и фенолов. Огромное значение имели его работы по исследованию процессов брожения и гниения.

В том же году по инициативе Ненцкого при ИИЭМ организовали курсы для ознакомления желающих со способами и средствами борьбы с инфекциями, что было вызвано вспыхнувшей в России холерной эпидемией. На вопрос, почему, будучи химиком, Ненцкий занялся бактериологией, ответ дала Зибер-Шумова: «Он приступил к своим работам по бактериологии в то

время, когда эта наука только начинала зарождаться и когда жгучий вопрос о «Generatio equevoca» [об изменчивости поколений] занимал умы всех и служил предметом оживленной полемики. Естественно, что и молодой в то время (начало 1870-х) М.В.Ненцкий не мог остаться в стороне от нового движения, которое обещало пролить новый свет на занимавшие его вопросы» [5].

23 июня 1892 г. Ненцкий организовал экспедицию и уехал «для прекращения холерной эпидемии». Также он несколько раз выезжал на чумные эпидемии рогатого скота в 1895 и 1898 гг.

Борьба с чумой рогатого скота

В конце XIX в. чума овец в России господствовала на значительном пространстве и считалась одним из самых ужасных народных бедствий. В литературном обзоре В.И.Выжникович отмечал, что разработка этого вопроса вследствие неблагоприятных внешних условий шла очень вяло, и в середине 1880-х годов, после введения во многих губерниях закона от 3 июля 1879 г., установившего обязательное убивание зачумленного скота и бывшего в контакте с чумным, совершенно заглохла [6]. «Все государства Европы несли огромные убытки и затрачивали миллионы на борьбу с ней» — писал Ненцкий в докладной записке принцу Ольденбургскому [6, 7].

С 1892 г. по инициативе принца Ольденбургского в отделе эпизоотологии ИИЭМ (заведующий Е.Земмер и помощник заведующего М.Г.Тартаковский) приступили к исследованию чумы рогатого скота. Произведенные опыты (по ослаблению чумного контагия либо путем проведения его через организм морских свинок, либо при воздействии на яд низкой или высокой температуры) привели

к выводу, что «такие прививки вполне пригодны для предохранения скота от заболевания чумой, которая с помощью этого средства может быть вытеснена из России менее варварским способом, чем убивание, и без больших денежных затрат» [8].

Крупные скотопрмышленники, владевшие огромными стадами, несли при эпизоотиях большие убытки и потому были крайне заинтересованы в изыскании радикальных средств борьбы с чумой скота. В связи с этим граф А.В.Орлов-Давыдов пожертвовал ИИЭМ 60 тыс. руб., и из них «10 т. р. на премию лицу, которое откроет эффективное средство борьбы с чумой». Поэтому в 1894 г. землевладельцы Северного Кавказа обратились в ИИЭМ с ходатайством о «необходимости научной проверки» способов борьбы с чумой и высказали пожелание о необходимости производства в широких размерах опытов прививания чумы у скота.

Помещик Я.Ф.Николенко для этих целей предložил свое имение около станицы Кардоникской в Баталпашинском отделе области войска Кубанского (северный склон горы Эльбрус). Финансирование проведения работ взяли на себя заинтересованные в этом деле скотопрмышленники. А так как в институте имелись суммы, пожертвованные графом Орловым-Давыдовым для исследований по чуме рогатого скота, то соответственно по постановлению Совета ИИЭМ было признано возможным удовлетворить желание землевладельцев и организовать экспедицию под руководством Ненцкого.

Министерства — военного и внутренних дел — поддержали это мероприятие и создали комиссию, в которую кроме Ненцкого ввели своих представителей: от Императорской военно-медицинской академии председателем — профессора В.Е.Воронцова, от МВД — ветеринарного врача Н.И.Эккерта при уча-

стии ветеринарных врачей С.В.Ваганова, А.А.Дудукалова, В.И.Выжниковича и других специалистов.

Помощники Ненцкого (Зибер-Шумова и Залесский) и прикомандированный к экспедиции И.А.Качинский провели летом 1895 г. исследование этиологии чумы с целью отыскания средства для борьбы с ней. В том же году Ненцкий, исследуя этиологию холеры и чумы крупного рогатого скота, детально разработал процесс производства иммунной сыворотки для предохранения животных от чумы. Созданный им и его сотрудниками метод иммунизации животных был применен на ветеринарных станциях ИИЭМ (в Инкеви и около Читы в Сибири), организованных при поддержке принца и Военного министерства на средства, пожертвованные графом Орловым-Давыдовым.

Далее исследования продолжались в ИИЭМ, и Ненцкий докладывал о них 8 мая 1897 г. на заседании «Общества русских врачей». Он прямо указал, что все микроорганизмы, которые были описаны разными авторами как возбудители чумы, не имеют с этой болезнью ничего общего. Ему удалось выделить возбудителя чумы, найти среду, на которой он развивается, и установить, что сыворотка крови животных, перенесших чуму, обладает иммунизирующим свойством. Исследования имели двойную цель: во-первых, выяснить этиологию этой болезни и, во-вторых, изыскать средства для предотвращения ее дальнейшего распространения и для лечения. Для проверки этого метода в полевых условиях и для оказания помощи местным властям в борьбе с чумой ИИЭМ совместно с МВД 28 декабря 1897 г. командировал практиканта отдела химии Выжниковича на опытную станцию в местечке Инкеви, расположенном в Атенском ущелье в 18 верстах от г.Гори Тифлисской губернии (усадьба Инкеви на берегу р.Таны принадлежала князю Эристову и княгине

Орбелиани). К тому времени для экспедиции было заготовлено достаточное количество противочумной сыворотки и «с соизволения принца Ольденбургского и с разрешения министра МВД» ее члены выехали на место. Там Выжникович оборудовал с помощью служителя Ю.Лавриновича специальную станцию для иммунизации и лечения животных. Ненцкий вместе с Зибер-Шумовой прибыли на станцию через 6 мес. и вместе с Выжниковичем применили введение одновременно с живым вирусом специфической сыворотки. С февраля 1898 г. на станции было иммунизировано более 800 быков, коров, телят, коз и овец [9].

Комиссия пришла к заключению, что у животных можно вызвать невосприимчивость к заболеванию с помощью противочумной сыворотки. Однако было еще недостаточно материала, для того чтобы полностью оценить полученные результаты.

Вакцины и сыворотки

В 1894 г. в ИИЭМ организуется лаборатория, в которой было налажено крайне необходимое производство противодифтерийной сыворотки и серотерапии дифтерии под руководством ученика Ненцкого Дзержговского. Деятельность лаборатории курировал Ненцкий. В том же году он выступал в Обществе врачей и фармацевтов, поддерживая идею противодифтерийной сыворотки. Сыворотку в опытах на собаках апробировал член-сотрудник ИИЭМ Г.А.Смирнов (главный врач Петропавловской больницы Санкт-Петербурга). 23 мая 1896 г. на заседании Совета ИИЭМ Павлов сообщил об успешном завершении работ с дифтерийной сывороткой на собаках. Клинические испытания произвел К.А.Раухфус в детской больнице им. принца П.Г.Ольденбургского. Они убедили Раухфуса в ее несомненной полезности. Далее менее чем за два года

ИИЭМ выпустил 60 тыс. ампул противодифтерийной сыворотки. К концу 1895 г. серотерапия дифтерии достаточно распространилась в России как метод лечения. В том же году, 13 декабря, Ненцкий выступил в Обществе врачей столицы и в Фармацевтическом обществе с горячей защитой только что появившейся дифтерийной целебной сыворотки.

В дальнейшем именно Ненцкому Советом ИИЭМ было поручено наладить выпуск и химический контроль качества вакцин и сывороток от чумы и холеры в Особой лаборатории по заготовлению противочумных препаратов ИИЭМ. Первоначально, в 1897 г. ее организовали на территории ИИЭМ, а в дальнейшем, в 1901 г., перевели на форт «Император Александр I» около Кронштадта.

Подведение итогов

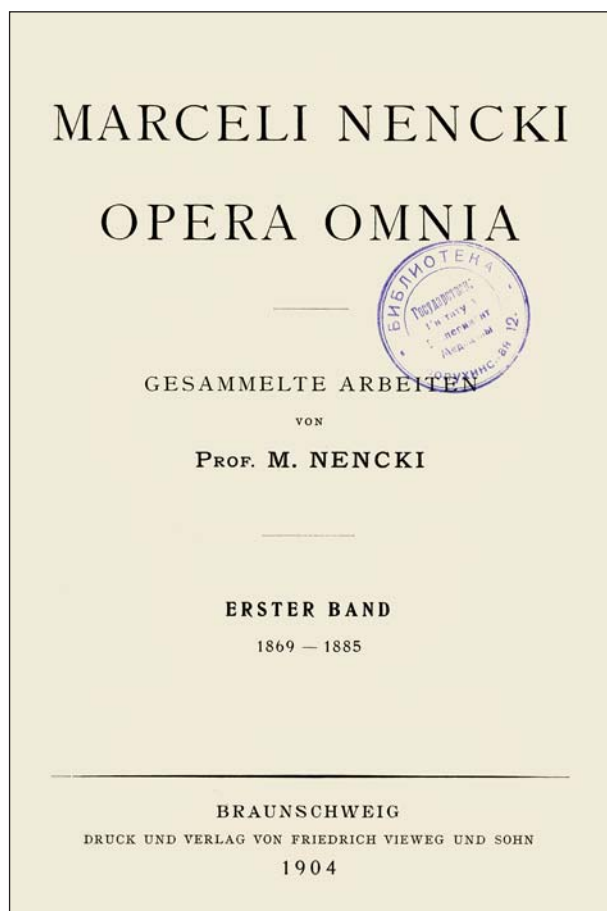
Работая в ИИЭМ, Ненцкий продолжил и завершил начатые в Швейцарии исследования по гемоглобину и хлорофиллу. Важные результаты достигнуты в связи с изучением кровяного пигмента гемоглобина, разработана методика получения чистого гемина и его производных, точными анализами установлен их элементарный состав, описаны важнейшие функции и предположительно даны структурные формулы. Эти исследования во многом определили дальнейшее развитие работ в области биохимии. Изучая помимо кровяных и другие пигменты — хлорофилл, желчные и мочевые, Ненцкий доказал их структурное сходство и химическое родство — либо путем превращения их друг в друга, либо получая при разложении каждого из них один и тот же продукт — гемипирролл. Обобщающую публикацию об этом он подготовил вместе со своим учеником Л.Мархлевским. Они завершили ее за четыре с половиной месяца до смерти про-

фессора и отослали в печать в 1901 г. Работа вышла в 1902 г.

Подводя итоги этих исследований, Ненцкий указывал на их существенное значение для биологической химии, поскольку они «проливают свет на отдаленнейшие моменты в истории развития организованного мира» и свидетельствуют об «общности происхождения животного и растительного царства». Он писал, что теория Дарвина о происхождении видов основывается на изменчивости форм в зависимости от различных условий жизни при борьбе за существование. Но разнообразие организмов выражается не только в форме и строении органов, но и в химическом составе соединений, из которых состоят живые клеточки. Поэтому для более глубокого понимания истории развития организованного мира необходимо сравнение не одних лишь форм, но и химического состава клеточек, а также обмена веществ. Тем самым Ненцкий намечал развитие в дальнейшем сравнительной и эволюционной биохимии. Существенно, что эволюционное значение биохимических работ Ненцкого было по достоинству оценено его современниками уже в самом начале XX в.

В марте 1897 г. в ИИЭМ торжественно отметили 50-летие со дня рождения и 25-летие научно-педагогической деятельности Ненцкого, к юбилею были изданы труды Ненцкого и его учеников, а юбиляру присвоен чин статского советника.

В июле 1900 г. на Съезде естествоиспытателей и врачей в Кракове профессор выступил с докладом «О задачах биологической химии», в котором наметил основные направления предстоящих исследований. Он был одним из первых, изучавших вопросы смешанной инфекции на основе общих представлений о синергизме и антагонизме бактерий. Существенное внимание представители школы Ненцкого уделяли изучению химических процессов при гниении белка



Титульный лист сборника трудов М.В.Ненцкого, изданного посмертно.



Бюст М.В.Ненцкого работы скульптора А.Оссовского в вестибюле здания отдела химии ИИЭМ.

и ферментации углеводов. Теоретическое и практическое значение имели исследования химических препаратов и физических воздействий для дезинфекции.

Энгельгардт [1] отмечал, что Ненцкий обладал феноменальной памятью и исключительным трудолюбием. В течение 30 лет он изо дня в день работал в лаборатории с 8:00 до 18:00 с перерывом на обед. Свои летние двухмесячные отпуска он проводил в любимом Берне или в Бочках, где работал над научными статьями или совершал с друзьями и учениками прогулки, во время которых велись оживленные беседы на научные темы. В Санкт-Петербурге Ненцкий поддерживал научное общение с химиком Ф.Ф.Бейльштейном, педиатром Раухфусом

и главным образом с Павловым, которого он успел выдвинуть на Нобелевскую премию в 1901 г. (Павлов стал нобелевским лауреатом в 1904 г.).

Ненцкий скончался 1(14) октября 1901 г. от рака желудка. Гроб с его телом Дзержговский доставил в Варшаву, где Маркела Вильгельмовича и погребли на реформатском кладбище в Варшаве, на могиле ему поставили бюст.

Оценка трудов

На гражданской панихиде Ненцкого директор ИИЭМ С.М.Лукьянов выступил с прощальной речью, а С.С.Салазкин, оценивая научную деятельность покойного, писал в те дни: «Редкая работа была случайной: большинство

их связано общей мыслью, и решение того или другого вопроса все больше приводило Ненцкого к определенной, намеченной им цели — к выяснению хода и характера процессов, совершающихся в животном мире, чтобы таким образом сделать затем выводы общего биологического свойства».

В очерке о жизни и деятельности своего учителя Зибер-Шумова выделила три основных направления в широком круге его научных поисков: органическая химия, физиологическая химия и бактериология (общая и медицинская). За время работы Ненцкого в ИИЭМ из его лаборатории вышло 139 научных работ, опубликованных в России и за границей. Труды научной школы ученого, опубликованные в двух томах на немецком языке в 1904 г.

[10], содержат более 150 публикаций самого Ненцкого и свыше 440 работ его учеников, общим объемом свыше 1700 страниц.

Естественно, Ненцкий не мог не видеть слабости биохимии на рубеже 20-го столетия, отсутствия в ней развитого динамического направления. Рассматривая обмен веществ микроорганизмов, растений и животных, ученый мог судить о нем исключительно по отрывочным данным. Исследователи тех лет были первопроходцами в биохимии и постоянно сталкивались с многочисленными трудностями. Считалось, что биохимия была в те времена чисто препаративной химией, потому что задачей исследователя было выделение в чистом виде, желательно кристаллическом, химических веществ для изучения их строения и свойств. На основании такого рода исследований делались косвенные заключения о процессах, в результате которых возникло то или иное вещество, об участии его в процессах обмена энергией.

В целом же значение работ Ненцкого и его учеников состоит в том, что они впервые в России продемонстрировали сложность структуры формирующейся науки биохимии. Считается,

что это была классическая модель перехода от физиолого-химических к истинно биохимическим исследованиям, которая была реализована в ИИЭМ [11].

Поэтому, отдавая должное заслугам выдающегося ученого, после его кончины коллеги, ученики и члены польского землячества Санкт-Петербурга организовали сбор средств (по подписке) в фонд имени М.В.Ненцкого, предназначенный дляощрения и поддержки исследований по биохимии. Принцесса Е.М.Ольденбургская обратилась 5 января 1902 г. с особым рескриптом на имя министра внутренних дел Д.С.Сипягина, прося его разрешить публичную подписку — в соответствии с действующими по сему предмету законами. 29 января 1902 г. директор ИИЭМ Лукьянов доложил на заседании ученого совета, что в фонд имени покойного Ненцкого поступило пожертвование в размере 1000 руб. от принца Ольденбургского и в размере 500 руб. от принцессы Ольденбургской. В 1903 г. в вестибюле здания отдела химии установили бюст Ненцкого (скульптор А.Осовский), оплатив работу из собранных средств.

22 февраля 1907 г. директор ИИЭМ В.В.Подвысоцкий пред-

ложил на обсуждение ученого совета текст «Положения о премии М.В.Ненцкого», выработанный им совместно с Зибер-Шумовой. Он также сказал, что, имея для этих целей капитал в 5000 руб., уже есть возможность ежегодно выдавать проценты с него в виде премии практикантам. Первую премию присудили практиканту отдела химии А.С.Станишевскому в декабре 1907 г. Далее ее в 1911 г. получил М.В.Черноруцкий.

После того как в 1920 г. Польша стала суверенным государством, Дзержговский привез в Варшаву оставшуюся часть денежного фонда, и ее израсходовали на организацию Института экспериментальной биологии им.М.Ненцкого. Этому институту Зибер-Шумова завещала свою библиотеку.

Всего 10 лет Ненцкому суждено было жить и работать в Санкт-Петербурге. Но именно эти годы составляют наиболее яркие страницы научной биографии выдающегося ученого и учителя, патриота своей родины — Польши, с именем которого неразрывно связана история органической и физиологической химии в мире, а также развитие бактериологии на рубеже XIX—XX вв. ■

Литература

1. *Энгельгардт В.А.* М.В.Ненцкий (К 50-летию со дня смерти) // Биохимия. 1951. Т.16. Вып.5. С.486—494.
2. *Мартинсон Э.Э.* М.В.Ненцкий и его работы по органической химии // Материалы по истории отечественной химии. М., 1953. С.105—117.
3. *Конников А.П., Соловьев Л.Т.* Отдел биохимии за 1891—1937 гг. // Материалы к истории ВИЭМ. 1890—1932. М., 1941. С.50—62.
4. Санкт-Петербургский Государственный исторический архив. Ф.2288. Оп.2. Д.112. Л.1—3.
5. *Зибер-Шумова Н.О.* Очерк научной деятельности М.В.Ненцкого // Архив биологических наук. 1904. Т.11. №3. С.165—194.
6. *Турчинович-Выжникевич В.* О современном состоянии предохранительных прививок против чумы рогатого скота. СПб., 1899.
7. *Литвинова Н.Д.* Роль Института экспериментальной медицины в борьбе с чумой крупного рогатого скота в России // Ежегодник ИЭМ АМН СССР. Л., 1959. С.503—505.
8. *Тартаковский М.Г.* О восприимчивости верблюдов к чуме рогатого скота // Архив биологических наук. 1895. Т.8. С.11—356.
9. Отчет комиссии. Иммунизация животных против чумы рогатого скота и лечение этой болезни. Экспериментальное исследование // Архив ветеринарных наук. Кн.1. СПб., 1899. С.1—30, 119—159, 191—221.
10. *Nencki M.* Opera Omnia. Gesammelte. Arbeiten von prof. M.Nencki. Zweiter band. 1886—1901. Braunschweig, 1904.
11. *Szwejezova Z.A., Groszinska J.* M.Nenzki. Materialy biograficzne i bibliograficzne. Warszawa, 1956.

К юбилею учителя

125 лет со дня рождения А.В.Шубникова

В.М.Фридкин,

доктор физико-математических наук
Москва

Кроме столетия открытия дифракции рентгеновских лучей наука в нынешнем году отмечает еще одну знаменательную «кристаллографическую» дату — 125 лет со дня рождения академика Алексея Васильевича Шубникова (1887—1970). Он был учеником знаменитого Георгия Викторовича Вульфа, которому мы обязаны известным законом Вульфа—Брэгга. Поэтому оба юбилея тесно связаны. А.В.Шубников занимает выдающееся место в отечественной и мировой науке. По существу он создал новую дисциплину — современную кристаллографию, науку о кристаллах, их росте, структуре и симметрии. Обобщив учение великого русского кристаллографа Евграфа Степановича Федорова о симметрии, Шубников развил теорию антисимметрии (чернобелых группах симметрии, называющихся теперь шубниковскими), которая играет важную роль в физике и биологии; открыл пьезоэлектрические текстуры; предсказал возможность визуализации атомов, выдвинув идею, воплощенную в электронной микроскопии. В 1943 г. на базе своей лаборатории он организовал первый в мире Институт кристаллографии и почти на 20 лет стал его директором. Благодаря его работам и инициативам институт (теперь — Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН) стал одним из ведущих научных центров в изучении структуры и свойств объектов неживой и живой природы (в частности, белков).

«Что сохранила память?»

«Что сохранила память» — так назвал свои мемуары Алексей Васильевич Шубников [1]. Блестящему ученому и замечательному человеку посвящено немало воспоминаний. Настала моя очередь. Тем более, что из живущих ныне прямых его учеников, видимо, остался один я. Подробностям биографии и научным достижениям Шубникова посвящена статья коллег, недавно вышедшая в «Вестнике РАН» [2]. Я же здесь набросаю несколько штрихов к портрету учителя.

Я стал аспирантом Алексея Васильевича в 1955 г. Меня познакомил с ним Иван Степанович Желудев, мой старший товарищ по Университету и к тому времени уже сотрудник Шубникова. Получив разрешение от секретаря Верочки Витанис, Иван Степанович ввел меня в его кабинет на третьем этаже здания института в Пыжевском переулке. Выражаясь не слишком оригинально, открыл передо мной дверь в большую науку — в прямом и переносном смысле.

После окончания физфака МГУ в 1952 г. работу я найти не мог. Молодой читатель спросит, почему: новое поколение, как правило, не знает о событиях последних сталинских лет. Другая отца, инженера-полиграфиста, погибшего на фронте, устроили меня в НИИПолиграфмаш, где физикой и не пахло. Зато я, не теряя времени, успел реализовать на этом заводе свой дипломный университетский

проект и сделал первый ксерокс. Потом перевез его в здание на Пыжевский.

— Рассказывайте медленно, а главное — никаких формул. Алексей Васильевич их не любит.

— А предельный тензор для полярной текстуры дать можно?

— Не только можно, но и нужно.

Так наставлял меня Желудев перед моим первым семинаром. Я рассказывал о фотоэлектрических, полярных текстурах. В тот год вышла монография Шубникова, Желудева, Константиновой и Сильвестровой о пьезоэлектрических текстурах [3], и авторы, включая Алексея Васильевича, подарили мне книгу и подписали ее.

Ко мне Алексей Васильевич и его жена Янина Ивановна были добры и внимательны: одалживали деньги, приглашали домой. Я часто обедал на их кухне, где кривая Агафья Ивановна (домработница) угощала меня кислыми щами (любимым блюдом хозяина дома). Когда бывали гости (и среди них очень часто Николай Васильевич Белов), обед устраивали в гостиной.

Как-то Янина Ивановна заказала известному скульптору бюст Алексея Васильевича. Его поставили в углу гостиной. Янина Ивановна называла его не иначе как «надгробие». Проходя в кабинет к шефу, я старался в этот угол не смотреть. Мне было страшно. Как сам Алексей Васильевич уживался со своим «надгробием» — не знаю. Когда обедали в гостиной, я старался сесть к изваянию спиной. На ум приходила грозная строчка из

Державина: «Где стол был яств...». Теперь бюст стоит в вестибюле института. И это вовсе не надгробие, а памятник. К нему приносят цветы: летом — ромашки, зимой — гвоздики. У бюста фотографируются на память. Однажды сфотографировались и мы — всей группой, открывшей «двумерное сегнетоэлектричество». И хотя бюст сделан из твердого белого мрамора, он не долговечнее шубниковских групп антисимметрии [4].

Из гостиной дверь вела в кабинет Алексея Васильевича. Там же на узкой кровати (я называл ее про себя девичьей), покрытой пледом, он спал. Помню стол, шкаф с книгами и гитару в углу. Мне часто приходилось слышать, как он играет. Слух у него несомненно был, но не помню, чтобы он слушал классическую музыку.

Хотя после защиты кандидатской диссертации я занялся сегнетоэлектриками и фазовыми переходами, Алексей Васильевич продолжал проявлять интерес к моему ксероксу и электрофотографии.

«Ученый может работать и в тюрьме»

Рассказывая, Алексей Васильевич часто произносил крылатые фразы. Жаль, что записывать их я начал слишком поздно. Однажды, когда я пожаловался ему на что-то, он сказал мне: «Ученый может работать и в тюрьме. Вспомните хотя бы Кибальчича».

Сейчас на радио «Эхо Москвы» есть передача «Мой первый рубль». Свой первый рубль Алексей Васильевич заработал в Московском коммерческом училище — среднем учебном заведении, в котором он учился вместе с братьями Вавиловыми (с Николаем — в одном классе). Он изготовил своими руками и продал Сергею Ивановичу Вавилову электрофорную машину. Кажется, за несколько рублей. Своими руками он шлифовал кристаллы и ставил самые сложные экспе-



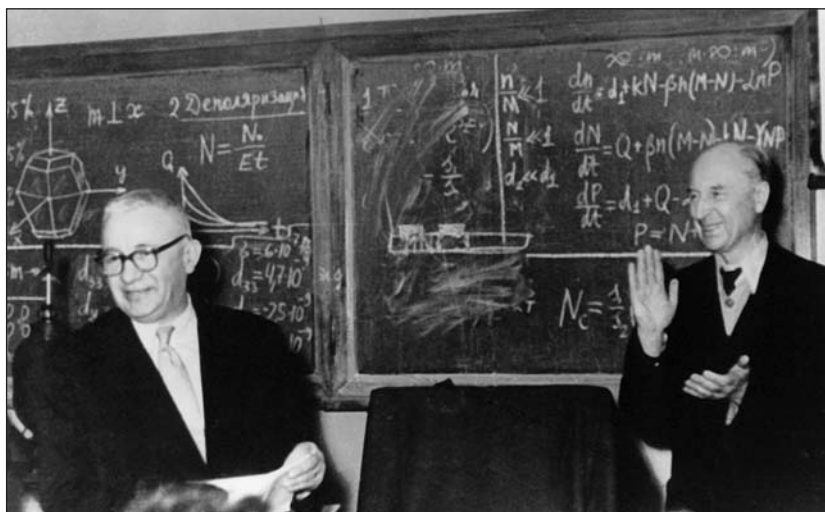
Б.К.Вайнштейн, Н.В.Белов, А.В.Шубников на Кристаллографическом конгрессе (Мадрид, 1954).

рименты. Был одновременно блестящим экспериментатором и теоретиком и, насколько помню, вообще не признавал разделения кристаллографов и физиков по этому признаку. Но в годы, когда я был аспирантом, он уже редко работал руками сам.

В этом ему помогал верный помощник, его Санчо Панса, бывший его лаборантом, мастер на все руки, виртуозный Владимир Федорович Парвов. Занимая эту должность, Володя никого не боялся и не стеснялся. Помню, выходил из лаборатории, хромя,



А.В.Шубников и В.Ф.Парвов (слева) в лаборатории. 1953 г.



А.В.Шубников с Г.Наджаковым (слева) на лабораторном семинаре (на доске — формулы автора).1957 г.

пересекал зал заседаний, со стуком открывал ногой дверь в кабинет Желудева, бывшего тогда секретарем парткома и говорил: «Привет господину товарищу Желудеву! Провод без кембрика не найдется?»

Тут самое время рассказать о работе по фотоэлектретам с болгарскими учеными. Как-то директор Института физики Болгарской академии наук академик Георгий Наджаков узнал о наших работах по фотоэлектретам и электрофотографии (видимо, по моим публикациям). А надо сказать, что фотоэлектреты Наджаков, будучи еще молодым человеком, открыл в 1938 г. в Париже, в лаборатории Поля Ланжевена. Он приехал в дом на Пыжевский, я сделал доклад, завязалась совместная работа. Наджаков пригласил Шубникова и Желудева с женами и меня на пару недель в Болгарию. Это много позже появилась поговорка «курица — не птица, Болгария — не заграница», во времена железного занавеса и Болгария была заграницей. Вся наша делегация уехала, а меня не пустили. Алексей Васильевич чувствовал неловкость, переживал и повторял мне свою поговорку про ученого и тюрьму. Помочь мне он ничем не мог. Впрочем, его и самого не очень-

то пускали, это была его первая поездка за границу после долгого перерыва. Как-то, роюсь среди старых фотографий, я нашел фото семинара с участием Шубникова и Наджакова, на котором я делал доклад. Меня на фото не было, но я узнал свои формулы.

«Для Капицы все равны»

Как-то Алексей Васильевич сказал мне: «Вам неплохо бы доложить работу на семинаре у Капицы. По-моему, ему будет интересно.»

Семинары у Петра Леонидовича Капицы, устраивавшиеся по средам, были известны всей Москве. На них всегда присутствовал Лев Давидович Ландау, который у Капицы заведовал теоретическим отделом. А сам факт доклада в «капишнике» считался успехом. Академик Капица испытывал к Шубникову не только уважение, но и признательность. Когда Сталин и Берия изгнали Капицу из его института, его приютил у себя Алексей Васильевич. Капица тогда безвыездно жил на даче и в нашем институте появлялся редко. Но память о мужестве Шубникова, видимо, сохранил навсегда.

Вслушав шефа, я испугался: «Но захочет ли Петр Леонидович

поставить мой доклад? И как это сделать?» «Не беспокойтесь, — сказал Алексей Васильевич. — Предоставьте это мне. Я позволю ему, и вы получите приглашение.»

Через несколько дней в институт на мое имя пришел конверт. Из него выпал листок, сложенный вдвое. Он где-то хранится у меня до сих пор. Вот его текст:

«Институт физических проблем им.С.И.Вавилова. В среду такого-то числа (число не помню) 1957 г. состоится триста сорок второе заседание семинара. Повестка дня: 1. Поль Адриен Морис Дирак. Электроны и вакуум. 2. Владимир Фридкин. Электреты. Начало в 18 часов.»

Если бы не стул, я сел бы на пол. Не уверен, что надо объяснять почему. Дирак (наряду с Эйнштейном, Планком и Гейзенбергом) — классик физики двадцатого века и вообще современного естествознания. Нобелевский лауреат и иностранный член нашей Академии наук, он приехал на несколько дней в Москву. Читать после него свой жалкий доклад о каких-то электретах, это все равно как... ну не знаю... после Пушкина читать свои стихи. Я бросился к шефу. Губы мои дрожали, в горле застрял комок. Без слов я протянул ему приглашение. Алексей Васильевич пробежал глазами текст, пожевал губами и чуть их раздвинул. Это означало, что он смеется: «Узнаю Петра Леонидовича. Он — в своем репертуаре. Понимаете, Володя, для Капицы все равны. Что вы, что Лауэ, что Дирак... А он сам как бы над всеми. Да вы не волнуйтесь, все будет хорошо, уверяю вас.»

Три ночи я не спал. Пил чай на кухне, бродил по квартире, мешал всем спать и почему-то декламировал стихи Надсона. Жена давала таблетки. Они не успокаивали. Чтобы уснуть, я читал свою диссертацию. Это не помогало. Наконец жена предложила: «Может вызвать неотложку и взять бюллетень?»

Но струсить и подвести шефа я не мог. Днем я писал на доске формулы и видел, что делаю ошибки.

Наконец, настала эта среда. В «капишнике» в гардеробе я случайно посмотрел в зеркало и увидел незнакомое лицо с безумно вытаращенными, лихорадочными глазами. Оно напоминало актера Михоэлса в роли Тевье, когда его изгоняют из родной Касриловки. На этот спектакль в Еврейский театр мама водила меня до войны.

Вестибюль был полон и жужжал, как растревоженный улей. Казалось, все физики Москвы собрались слушать Дирака и меня. Знакомые меня избегали. Испуганно смотрели издали и, встречаясь со мной взглядом, застенчиво отворачивались. Наконец подошел приятель Лев Горьков, аспирант Ландау. «С тобой можно подержаться за руку?» — спросил он.

Зал был битком набит. Первые два ряда заняли академики, члены Отделения. Я узнал Фока. Он сидел со слуховым аппаратом рядом с Ландау. На сцену поставили кресло, и в него сел Капица, положив ногу на ногу. Из-под жеваных брюк виднелись кальсоны, завязанные у щиколоток тесемками. Рядом у доски стоял Дирак. Его я почему-то не запомнил.

«Нужно ли переводить?» — спросил Петр Леонидович таким тоном, который подразумевал, что переводить докладчика не нужно. Но в те годы мало кто свободно владел английским. Из задних рядов, где сидели аспиранты и студенты, дружно закричали: «Нужно, нужно!»

«Лифшиц!» — скомандовал Капица, и на сцену вышел еще молодой, но уже лысый академик Евгений Михайлович Лифшиц. Дирак рассказывал, Лифшиц переводил, я дрожал. Ждал своего часа.

Но он не настал, этот час. В половине двенадцатого ночи, когда Ландау, стоя у доски, яростно разоблачал Дирака, а Дирак спокойно отвечал, я понял, что

спасен. Ровно в полночь Капица встал со своего кресла и объявил: «Из-за позднего времени второй доклад (он заглянул в бумажку)... об электретах... так, кажется, ...переносится на следующее заседание.»

В эту ночь я заснул как убитый. И всю неделю вплоть до триста сорок третьего заседания спал спокойно.

«В науке важна субординация»

«В науке важна субординация, каждый должен знать, кто его начальник», — говаривал Алексей Васильевич. Он прошел тяжелую военную школу жизни, был ранен во время Первой мировой, многих друзей и сотрудников потерял в годы сталинщины. Вместе с тем он уважал творческую свободу каждого и поддерживал в институте дух свободного творчества и соревнования. Один раз в году в институте устраивался «Юрьев день»: сотрудники могли переходить по своему выбору из одной лаборатории в другую.

В 1962 г., когда институт переехал в новое здание на Ленинском проспекте, Алексей Васильевич, которому было 75 лет, передал бразды правления Борису Константиновичу Вайнштейну, избранному членом-корреспондентом АН СССР. В этом сказались его привычка к субординации, и как бы трудно ему ни было, он не мог оставить институт, свое детище, без руководства. Это было мудрое решение. Алексей Васильевич не ошибся. Ему импонировали талант, организационные способности и интеллигентность ученика Зиновия Григорьевича Пинскера. Сам Алексей Васильевич возглавил небольшую лабораторию поисковых исследований, в которой наряду с другими сотрудниками работали я и Лев Александрович Шувалов.

Помню его кабинет в «сапожке» второго этажа. Там он рассказывал мне о своих университетских годах и своем учителе Вульффе. Кстати, увлек меня идеей памятника Вульффу в Тарусе, где тот жил. Алексей Васильевич любил рассказы-



А.В.Шубников с автором (слева) и Л.А.Шуваловым (справа). Конец 60-х годов.

вать о братьях Кюри, открывших в кварце пьезоэлектричество, и о принципе Кюри [5]. Он искренне считал, что Пьер Кюри сделал большую ошибку, забросив симметрию и увлекшись радиоактивностью. «Радиоактивность неизбежно открыли бы и без него, а симметрия и термодинамика — основа всего и вся», — вот подлинные слова Алексея Васильевича.

«Асимметрия творит явления»

Эти слова Пьера Кюри часто повторял Алексей Васильевич. Учение о симметрии, симметричный подход к предсказанию и анализу явлений кристаллофизики, по мнению Алексея Васильевича, как раз и отличают кристаллографа от специалиста по физике твердого тела. Симметричный подход был основополагающим и в другой области его интересов — росте кристаллов [6, 7]. Работая рядом с Шубниковым и Беловым обобщили учение великого Федорова о симметрии, развив теорию антисимметрии и цветной симметрии. Именно симметричный анализ привел Алексея Васильевича к открытию нового класса пьезоэлектриков — пьезоэлектрических текстур, к открытию новых явлений в кристаллооптике и электрооптике. Алексей Васильевич любил повторять: «Кристаллографии нет без кристаллов». Не надо забывать, что благодаря ему в институте впервые были выращены кристаллы кварца, а позднее алмаза. Его монография «Как растут кристаллы» [6] была для всех настольной книжкой.

Совместных публикаций у меня с шефом, к сожалению, не было. Я приносил ему работу с двумя фамилиями авторов, и он укладывал ее в свой старый желто-коричневый портфель. Через несколько дней возвращал ее мне. Свою фамилию вычеркивал, а в углу на первой

странице писал «В ДАН СССР». Сначала меня это обижало. «Может быть, — думал я, — мои работы кажутся ему недостаточно интересными?» Потом понял и успокоился. Ведь я работал несколько в стороне от его главных направлений, а этику ученого он ставил превыше всего. Но одна работа могла бы стать общей. И об этом я хочу здесь рассказать.

Еще в конце 30-х годов Шубников опубликовал статью «Правило Ампера и симметрия мира» [8], где доказал принципиальную невозможность существования правой и левой модификаций мира. А в конце 50-х Алексей Васильевич был увлечен идеями Ландау об отсутствии у Вселенной центра симметрии. О том, как возникли эти идеи и к чему они привели, надо рассказать подробнее. В 1956 г. Цзиньсян Ву при сверхнизкой температуре $T = 10^{-2}$ К наблюдала асимметричный β -распад нейтрона на ядрах Co^{90} в присутствии магнитного поля \mathbf{B} , причем в направлении \mathbf{B} возникал ток. Не знаю, слышал ли об этих экспериментах наш физик Иосиф Шапиро, который предложил Ландау идею ацентричного мира. Ландау ему ответил, что в ней нет никакого внутреннего противоречия, но ему не хотелось бы жить в таком «скособоленном» мире. И Шапиро, видимо, потерял к своей идее интерес. Год спустя за эту идею и, как следствие, объяснение несохранения четности при слабых взаимодействиях Тзундао Ли и Чженьнин Янг получили Нобелевскую премию.

Эта работа широко обсуждалась на ученом совете в старом здании на Пыжевском... Алексея Васильевича «кособокая» Вселенная не смущала, она могла «творить явления». Несохраниение четности при β -распаде и было одним из этих явлений. Вот один из таких эффектов, обусловленных отсутствием центра симметрии в кристалле, и мог стать нашей общей работой.

«Что такое кристаллография?»

Алексей Васильевич постоянно подчеркивал, что кристаллография — самостоятельная научная дисциплина, так как имеет собственные предмет и метод исследования. Предмет — это сами кристаллы, а метод — симметрия. Таким образом, кристаллографию нельзя отождествлять ни с одной из родственных наук: физикой, химией и минералогией. В шутку он говаривал: «Что такое кристаллография? Это как раз то, чем занимаются в Институте кристаллографии. Ни больше ни меньше». Особое значение Алексей Васильевич придавал учению о симметрии. Он был первым, кто в оригинале изучил работы Пьера Кюри о симметрии и обобщил их в виде известного ныне «принципа Кюри», опубликовав об этом в 1956 г. статью в «Успехах физических наук» [4].

Примерно в конце 60-х — начале 70-х я с сотрудниками обнаружил интересное явление в кристаллах без центра симметрии. Их освещение в области собственного или примесного поглощения порождало постоянный ток, направление которого зависело от ориентации плоскости поляризации света. При разомкнутых электродах этот ток приводил к генерации на электродах высокого напряжения, на несколько порядков превышавших ширину запрещенной зоны кристалла. Явление это оказалось связанным с несохранением четности для неравновесных горячих электронов в сегнето-пьезоэлектриках и было объяснено и количественно описано новосибирскими теоретиками Борисом Стурманом и Виктором Белиничером. Тогда же мы с коллегами показали, что направление тока и ориентация вектора поляризации света связаны тензором третьего ранга. Этот аналог эффекта Ву, Янга и Ли в кристаллах без центра симметрии мы назвали аномальным

фотовольтаическим эффектом (в дальнейшем его стали именовать фотогальваническим или объемным фотовольтаическим эффектом).

Алексея Васильевича заинтересовала эта работа, и он, исходя из принципа Кюри, предложил измерить фотовольтаический ток в магнитном поле, т.е. определить его холл-компоненту. Так как места для размещения магнита и других приборов у меня не было, в кабинете шефа вдоль его левой стены поставили рабочий стол и на нем начали измерения, за которыми Алексей Васильевич мог наблюдать. Очень скоро нам удалось обнаружить холл-составляющую фотовольтаического тока в ниобате лития. Это был серьезный результат — ведь из отношения тока и его холл-компоненты можно было определить подвижность нетермализованных горячих электронов. Помню, Алексей Васильевич посоветовал проследить изменение направления холловского тока при вращении плоскости поля-

ризации света — и мы вскоре обнаружили подобный эффект. Работу надо было готовить к публикации.

Статья по магнитофотовольтаическому эффекту вышла в 1971 г. в «ЖЭТФ» уже после смерти Алексея Васильевича. Согласия быть ее соавтором он дать не успел, и мы выразили ему благодарность. В дальнейшем это направление, по существу предложенное им, привело к интересным результатам по физике нетермализованных носителей в пьезо- и сегнетоэлектрических кристаллах [9].

Сейчас много говорят и спорят о том, кого можно причислить к русской интеллигенции (да и сохранилась ли она?). Алексей Васильевич Шубников, выросший в простой и бедной семье, для всех знавших его был образцом русского интеллигента. Его огромный талант сочетался со скромностью, сдержанностью и мягкостью, не шедшими ни на какие компромиссы с совестью. Требовательный к себе, доброжелательный к дру-



Алексей Васильевич в лесу на даче. 1969 г.

гим, он умел быть твердым и непреклонным, если дело касалось порядочности и чести ученого. Талант его был не только велик, но и редок. У него были золотые руки экспериментатора и голова натурфилософа. ■

Литература

1. Шубников А.В. Избранные труды. М., 1975.
2. Ковальчук М.В., Фейгин Л.А., Яцишина Е.Б. Апостол кристаллографии // Вестник РАН. 2012. Т.82. №4. С.363—369.
3. Шубников А.В., Желудев И.С., Константинова В.П., Сильвестрова И.М. Исследование пьезоэлектрических структур. М.; Л., 1955.
4. Shubnikov A.V. Antisymmetry / Transl. from Russian. M., 1966.
5. Шубников А.В. О работах Пьера Кюри в области симметрии // Успехи физических наук. 1956. Т.59. С.591.
6. Шубников А.В. Как растут кристаллы. М.; Л., 1935.
7. Shubnikov A.V. Theses de la communication la formation de cristaux // Acta Crystallogr. 1960. V.13. P.1077.
8. Шубников А.В. Правило Ампера и симметрия мира // Труды лаборатории кристаллографии АН СССР. 1939. Т.1. С.25.
9. Sturman B., Fridkin V. The photovoltaic and photorefractive effects in noncentrosymmetric materials. Philadelphia, 1992.

Рецензии **Неведомое царство паразитов**

С.В.Чудов
Москва

Впервые опубликованную на русском языке книгу американского популяризатора науки Карла Циммера «Паразиты» можно без преувеличения отнести к классике жанра общедоступного повествования о живой природе и ее исследователях, которым мы столь многим обязаны в борьбе с извечным бичом человечества — различными болезнями, в том числе паразитарными.

Мир паразитов скрытен и невероятно изменчив, а ухищрения, к которым они прибегают, чтобы проникнуть в хозяина, обойти его иммунную защиту и найти место, где можно расти и размножаться, столь изощренны, что превосходят самое богатое воображение. Изучать многоклеточных паразитов сложно еще и потому, что многие из них плохо поддаются культивированию вне организма-хозяина, к которому они адаптированы, и могут менять облик на разных стадиях жизненного цикла. Однако успех в выяснении причин паразитарных заболеваний, в исследовании жизненного цикла паразита и его специфических адаптаций связан не только с огромным трудом и настойчивостью, но и с изобретательностью исследователя. От него требуются качества, которые необходимы сыщику, противостоящему закоренелому, опытному преступнику, превосходно умеющему замечать следы. Свидетельство тому — истории научных открытий, описанные в этой книге, которая читается как захватывающий детектив со множеством неожиданных поворотов, ложных следов и редких удач.

Наряду с объективными причинами, затрудняющими изучение биологии паразитов, существовали и до сих пор не изжиты чисто субъективные препятствия. К этим тварям зачастую относятся как к примитивным, предельно упрощенным организмам, от которых не следует ожидать поведенческой активности и сложных адаптаций. Среди эволюционистов долгое время господствовало убеждение, что паразиты развиваются, не приобретая, а утрачивая органы, ставшие ненужными при переходе к паразитарному образу жизни (теория дегенерации). И в ряде случаев, описанных в качестве классических примеров такого обратного развития (точнее, морфологического регресса) во всех учебниках по теории эволюции, это действительно так. Однако за последние десятилетия выяснилось, что существует множество паразитических видов, у которых в ходе эволюции развились чрезвычайно сложные морфологические приспособления, не имеющие аналогов среди родственных им видов. А уж по сложности и уникальности поведенческих адаптаций внутренние паразиты ничуть не уступают свободноживущим сородичам.

Существенно изменились взгляды и на роль паразитов в общей картине развития жизни. Оказалось, что именно они во многом определяют направления развития животных и растений, а также экосистем в целом. И если не учитывать это, наши представления об эволюции видов и биоценозов окажутся не только неполными, но и принципиально неверными. Углубление знаний о пара-



К.Циммер. ПАРАЗИТЫ: ТАЙНЫЙ МИР. Пер. с англ.

М.: Альпина нон-фикшн, 2011. 362 с.

© Чудов С.В., 2012

зитах и переоценка их роли требуют существенного переосмотра сложившихся концепций во многих разделах биологии — от физиологии до экологии и эволюции, причем на всех уровнях организации живого. В книге этот новый взгляд проиллюстрирован яркими примерами и неожиданными фактами. Скажем, мало кто знает, что, по некоторым оценкам, число паразитических видов вчетверо превосходит число свободноживущих, так что если бы изученность паразитов была сравнима с изученностью прочих видов, то биология в основном представляла бы собой паразитологию!

Путешествие в неведомый мир паразитов начинается с пролога, озаглавленного «По рекам вен». Место действия — крохотный городок Тамбура в самом сердце Африки: на юге Судана, близ границы этой страны с Центрально-Африканской Республикой. Здесь проблемы паразитических болезней человека ощущаются острее всего — из-за отсутствия санитарии и медицинской помощи в разрушенной многолетней гражданской войной стране. Вновь, как десятилетия назад, распространяется сонная болезнь, которая в конце XIX и в начале XX в. опустошала огромные территории. Возбудитель болезни — одноклеточный паразит трипаносома, переносчик — муха цеце, кусающая как людей, так и крупный рогатый скот. Проникнув в кровь, микроскопический паразит разносится с ее током по всему телу, начинает размножаться во внутренних органах человека и, наконец, проникает в его мозг. На этой стадии заболевания лишь агрессивное лечение весьма ядовитыми препаратами мышьяка способно спасти больного. А еще жителей Тамбуры и ее окрестностей поражают слоновая болезнь, вызываемая микрофиляриями, малярия, риккетсия, а также ленточные черви (цепни), обитающие в кишечнике и достигающие 15 м в длину.

Но тропическая Африка к югу от Сахары — вовсе не исключение: всюду, где живут люди, есть и паразиты человека, просто современные стандарты санитарии и гигиены резко уменьшили опасность заражения ими населения развитых стран.

В первой главе («Преступники в природе») дан исторический очерк развития представлений о паразитах и паразитарных инвазиях — начиная с древности и примерно до середины прошлого века. Любопытно, хотя и не бесспорно мнение автора, что успехи медицинской бактериологии затормозили развитие медицинской паразитологии: сравнительная важность бактериальных инфекций и таких средств борьбы с ними, как вакцины и сыворотки, после открытий Пастера отодвинули паразитарные болезни на второй план. К тому же знаменитая триада Коха, устанавливающая роль болезнетворного агента в развитии болезни, к паразитам неприменима. Выявление возбудителей так называемых тропических болезней, с которыми европейцы впервые столкнулись в процессе колонизации Африки, Азии и Латинской Америки, натолкнулось на серьезные трудности — как методологические, так и концептуальные. Уж очень сложным и неожиданным оказался жизненный цикл многоклеточных паразитов (и даже некоторых одноклеточных), в ходе которого один и тот же организм неоднократно радикально меняет свое обличье, среду обитания, животное-хозяина и способ существования. Неудивительно, что разные стадии индивидуального развития одного и того же паразитического вида зачастую описывались зоологами как самостоятельные виды, а истинный характер связи между ними без специальных исследований оставался неизвестным.

Негативную роль сыграла и упомянутая теория дегенерации — весьма односторонний взгляд на сущность паразитиз-

ма, состоящий в том, что переход к жизни внутри других животных или растений обязательно ведет к упрощению организации, т.е. к морфологическому и функциональному регрессу. Порой это действительно так, но это скорее исключение, чем правило. Внутренняя среда живых организмов чрезвычайно агрессивна к незванным гостям: она содержит множество преград для их свободного перемещения из одного органа или ткани в другую, разнообразные механизмы подавления их роста и размножения. Адаптация к подобным условиям — задача отнюдь не простая и потому не может решаться одним лишь упрощением организации паразита. Напротив, ответом на этот вызов часто бывают фантастическое усложнение морфологии и поведения вида при его переходе к паразитизму, выработка специфических для каждой стадии жизненного цикла морфологических и функциональных адаптаций, изучение которых представляет значительные трудности.

Насколько серьезны эти трудности и как мало на самом деле известно о биологии паразитов, повествует вторая глава («Terra incognita»), начинающаяся с описания жизненного цикла одного вида трематод, *Schistosoma mansoni*, вызывающего опасную болезнь человека — шистосомоз. Люди заражаются шистосомами при купании в прудах, где водятся улитки-прудовики — промежуточные хозяева паразитов. В моллюсках развиваются их личинки, которые, чтобы достигнуть половой зрелости, должны перебраться в организм человека. Для этого нужно сначала покинуть улитку, на время превратившись в свободно плавающую личинку. Затем — найти лодыжку человека (только там личинка может пробуравить кожу), проникнуть в капилляр купальщика, перебраться в более крупную вену. Для этого нужно присасываться к стенке капилляра поочередно

двумя присосками, перемещаясь внутри капилляра подобно гусенице-пяденице, оттуда перейти в еще более крупную, пока ток крови не перенесет личинку в легкие. Затем можно перебраться из венозной системы в артериальную и лишь после этого прибыть в промежуточный пункт назначения — печень. Только там личинка трематоды начинает питаться и превращается во взрослый организм — самца или самку. А ведь еще нужно найти партнера противоположного пола, спариться, перебраться вместе с ним в конечный пункт назначения (рядом с толстым кишечником), отложить яйца, покидающие организм человека через кишечник, и эти яйца должны заразить улитку-прудовика, чтобы цикл мог повториться.

Еще несколько подобных «жизнеописаний» паразитов позволяют читателю почувствовать разнообразие и сложность их мира. Но самая главная трудность, которую паразиты должны преодолеть, чтобы выжить в этом мире, — система иммунной защиты, которой обладают все живые организмы. Способам обхода этих защитных механизмов посвящена третья глава («Тридцатилетняя война»). В ней описана история болезни пациента, заразившегося в детстве в Африке шистосомой. Впоследствии он жил в Австралии и почувствовал симптомы болезни лишь в зрелом возрасте. Все эти годы в его теле жила пара шистосом — самец и самка; они спаривались, откладывали яйца, и только 30 лет спустя их потомство начало размножаться в печени больного, вызвав симптомы заболевания. До этого момента иммунная система пациента держала их численность под контролем и человек был практически здоров. Но затем паразит «сменил внешность» (изменилась структура поверхностного белка, или антигена, в результате мутации кодирующего его гена), и иммунная система хозяина уже не могла его

распознать. Это и вызвало вспышку размножения шистосом, породившую явные симптомы болезни. Подобная смена облика — отнюдь не случайность, а специальная адаптация паразита, имеющего в запасе около тысячи разных поверхностных белков и время от времени модифицирующего собственный геном, чтобы сделать себя неузнаваемым.

Аналогичным образом меняет свое обличье (поверхностные антигены) и малярийный плазмодий, отчего болезнь приобретает хронически рецидивирующую форму. В периоды ремиссии он почти никак себя не проявляет, однако продолжает существовать (персистировать) в клетках печени больного, а затем, сменив облик, вызывает новый приступ малярии. Паразиты также активно воздействуют на иммунную систему хозяина, перестраивая ее реакции в нужном для себя направлении: некоторые из них (лейшмании) провоцируют атаку макрофагов или производство антител, другие (токсоплазмы) сдвигают равновесие в пользу выработки Т-лимфоцитов, в норме убивающих чужеродные клетки, но неспособных полностью уничтожить токсоплазмы. Сама сложность и многоуровневость иммунной защиты позвоночных позволяет паразитам найти лазейки в этом лабиринте, сбить защитников с толку ложными химическими сигналами и даже перехватить управление регуляцией иммунного ответа.

Иммунная система беспозвоночных устроена гораздо проще, чем у низших позвоночных и тем более у млекопитающих и человека. Однако их жизненный цикл намного сложнее, он включает смену сред обитания и всей морфологии хозяев (метаморфоз), и здесь перед паразитами встают сложные проблемы адаптации к разным фазам этого цикла. Для этого паразиты беспозвоночных применяют особенно хитроумные стратегии модификации поведения

хозяев. Пользуясь химическими сигналами, управляющими этим поведением, они «зомбируют» своих жертв, заставляя их вести себя именно так, как нужно паразиту. Это тема четвертой главы («Настоящий ужас»).

Относительная простота устройства нервной системы членистоногих, сводимость их поведения к цепочке безусловных рефлексов делает их реакции на химические сигналы вполне предсказуемыми. Поведение членистоногих запрограммировано. Вот так паразит и делает своего хозяина рабом, автоматом, послушно исполняющим его команды. Химически кастрировав зараженного краба, паразитический рачок саккулина лишает его полового инстинкта и способности размножаться, но сохраняет материнский инстинкт, перенацелив на уход за потомством паразита. В норме самка краба носит свои оплодотворенные яйца в специальной сумке на нижней стороне панциря и тщательно ухаживает за ней, соскребая водоросли и грибы. Когда личинки созреют, она выходит на высокий камень, встает на него и начинает раскачиваться, помогая им покинуть сумку. Выступ, который саккулина образует на панцире краба, располагается точно там же, где у здоровой самки краба была бы сумка, а та относится к этому выступу как к собственному потомству. И в нужный момент начинает выталкивать оттуда личинки паразита, размахивая клешнями и разбрасывая по воде тучи этих личинок. Забавно, что так ведут себя не только самки, но и зараженные самцы, у которых саккулина «включает» материнский инстинкт и всю соответствующую программу поведения. Хозяин такого паразита становится просто марионеткой, а сам паразит, в функциональном отношении, — его мозгом, использующим тело хозяина для своих нужд.

Паразиты способны менять не только поведение, но и биохимию хозяев. Гусеницы, зара-

женные личинками паразитических ос, быстрее растут и становятся вдвое больше нормальных, при этом потребляемая ими пища не запасается в виде жиров, как в норме, а перерабатывается в сахара, используемые личинками. Паразиты-манипуляторы могут модифицировать поведение не только членистоногих, но и таких высоко развитых существ, как птицы. Так, кукушка — гнездовой паразит — заставляет жертву выкармливать кукушонка вместо собственных птенцов. Кукушонки точно имитируют сигналы птенцов вида-хозяина, стимулирующие кормление, но делают это энергичнее и настойчивее, и весь корм достается ему. Даже люди подвержены «манипуляциям» паразитов: вирусы гриппа и ОРЗ заставляют нас кашлять и чихать, распространяя инфекцию, а чесоточные клещи — чесаться, и все с той же целью. Приходится признать, что паразитизм — одна из наиболее успешных стратегий адаптации, важнейший фактор эволюции жизни вообще. Сложность организации высших организмов не в последнюю очередь порождена необходимостью борьбы с паразитами. Именно «гонка вооружений» и привела к созданию столь изощренной, многоступенчатой иммунной системы млекопитающих, но и она не всемогуща, так что конца этой гонке не видно.

Тема эволюционной роли паразитизма подробно рассмотрена в пятой и шестой главах («Громадный шаг к познанию» и «Эволюция изнутри»), затрагивающих наиболее сложные, во многом неясные и спорные вопросы теоретической биологии. Действительно, само определение того, что такое паразитизм, весьма условно: бактерий и вирусов обычно к паразитам не относят, хотя почти все они способны размножаться лишь внутри других живых организмов. А на заре жизни, еще до возникновения живых клеток, одни гены-репликаторы ис-

пользовали другие для собственного размножения, и именно «паразитические» консорциумы репликаторов стали предками всех современных организмов.

Получается, что жизнь как таковая начинается с паразитизма и с борьбы с ним. Все последующее развитие — это, так сказать, борьба за защиту авторских прав и ограничение неавторизованного копирования, и основные вехи этого развития — появление индивидуальных живых клеток, многоклеточных организмов, становление института вида — суть этапы борьбы за защиту «самости», идентичности, суверенности, способности отличать «свое» от «чужого» и противодействовать вторжению извне. Без относительного успеха в этой борьбе прогрессивное усложнение строения организмов и рост их разнообразия были бы невозможны. Как и без необходимости вести эту борьбу непрерывно, стараясь оградить себя от вторжения незваных гостей, постоянно совершенствующих свои способы маскировки и внедрения.

В седьмой главе («Двуногий хозяин») эти общебиологические соображения применяются для выяснения места человека в эволюции паразитизма и особенностей взаимодействия нашего вида с организмами, существующими на Земле намного дольше нас и развившими множество стратегий и приспособлений, которые позволяют им осваивать новую для них среду — организм человека. В частности, становится понятным происхождение аллергических реакций (сенного насморка, астмы, воспалительных реакций тканей на чужеродный белок или полисахарид). Все эти реакции человека вызваны особым видом иммуноглобулина (IgE). Такие антитела в норме присутствуют у населения развитых стран в едва заметном количестве, и долгое время было непонятно, зачем вообще они нуж-

ны, если их активация не сулит человеку ничего, кроме неприятностей. Оказалось, что эта система реакций, запускаемая IgE и порой приводящая к тяжелым аутоиммунным заболеваниям, на самом деле необходима для борьбы с паразитическими животными — кишечными червями, трематодами и прочими нежелательными гостями! В экспериментах было показано, что если у мышей и других млекопитающих отобрать IgE, то паразиты их побеждают. Наши далекие предки развили эту специальную систему защиты более 60 млн лет назад, и не зря: все современные приматы буквально кишат паразитами. От них более или менее свободно лишь население развитых стран с высоким уровнем санитарии, которому доступна чистая питьевая вода, канализация и пища, почти всегда подвергающаяся тепловой обработке. И только у этого «золотого миллиарда» уровни IgE в крови исчезающе малы. А все прочее человечество по-прежнему страдает от паразитарных инвазий.

Выйдя из джунглей более 5 млн лет назад, предки современных людей расселились в африканских саваннах, сменили образ жизни и диету, и при этом приобрели новых паразитов, прежде у приматов не встречавшихся. Так наши предки приобрели ленточных червей, прежде циркулировавших между крупными копытными и их добычей, и даже новый вид трематод, *Sch. mansoni*, который специализируется только на человеке. Затем, в ходе расселения из Африки, наши предки смогли избавиться от некоторых паразитов, но приобрели новых: трипаномы могут заражать людей лишь с помощью специфического переносчика, мухи цеце. Но за пределами Черного континента эта муха не водится, и поэтому вызываемая трипаномой сонная болезнь ныне встречается только в Африке. Зато контакт с крысами в Азии привел к переселению в человека

еще одного вида трематод, *Schjapronicum*. А люди, около 15 тыс. лет назад начавшие заселение Нового света, встретились в Южной Америке с дальней родственницей африканских трипаносом, *Trypanosoma cruzi*, вызывающей болезнь Шагаса.

И наконец, последнюю порцию паразитов люди приобрели около 8 тыс. лет назад, начав одомашнивание диких животных и растений и использование их в пищу. Сельскохозяйственная революция и скученность людей в городах привели к новой вспышке паразитарных заболеваний, передававшихся через мясо и экскременты домашнего скота. Возделывание риса в Юго-Восточной Азии создало новую нишу для размножения малярийных комаров — рисовые чеки (по существу, это искусственные болота, занимающие громадные территории). Ответом на эту вспышку стало появление народной медицины. Отвары трав и древесной коры стали применять для изгнания глистов, для лечения малярии (корой хинного дерева) и для изготовления всевозможных косметических средств и притираний, чтобы бороться с кожными паразитами. Да и сами обычаи народов, подвергшихся прессе паразитов, во многом сформировались как способы ограничения их распространения. Всевозможные обряды очищения с использованием воды, огня, золы для поддержания гигиены тела и стерилизации кухонной утвари, кулинарные техники, направленные на обеззараживание пищи, — все это свидетельствует о том, сколь важную роль паразиты и борьба с ними сыграли в становлении человеческой культуры.

В заключительной, восьмой главе («Как научиться жить в мире паразитов») обсуждаются чрезвычайно важные для практики вопросы биологических методов борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур и роль паразитов в поддержании устойчивости природных

экосистем. Насколько серьезными могут стать эти проблемы, показано на примере случившейся в 1973 г. массовой гибели посевов маниоки в Экваториальной Африке. Для 200 млн человек, основным продуктом питания которых служит маниок, возникла угроза голодной смерти: непонятно откуда взявшийся вредитель, маниоковый червец, уничтожал листву растений, клубнями которых питались самые бедные слои населения. Могла повториться трагическая история картофельного голода в Ирландии, только в гораздо больших масштабах.

Гуманитарную катастрофу удалось предотвратить швейцарскому энтомологу Хансу Херрену, решившему отыскать подходящего паразита, природного врага маниокового червца. Но для этого нужно было выяснить, откуда вдруг взялся сам маниоковый червец. Ведь этот растительный паразит не состоял в родстве ни с каким другим африканским червцом, однако был близок к червцу, паразитирующему на листьях хлопка в Юкатане. Стало ясно, что этот вредитель — завозной, родом из Центральной Америки, откуда, кстати, происходит и маниок. Вспышка размножения червца произошла именно вследствие того, что в Африке он не встретил природных врагов, ограничивающих его размножение у себя на родине. Значит, этих врагов нужно искать именно там, в Центральной Америке.

Однако никто из ученых, уже более полувека работающих с маниоком в обеих Америках, никогда не видел маниокового червца и тем более не мог представить себе, какой паразит мог контролировать его размножение. Но для Херрена именно этот факт кажущегося отсутствия червца в Центральной Америке как раз подтверждал его догадку, что такой паразит существует где-то на родине маниока, иначе и сам червец был бы там обычен. И Херрен решил обследовать места, где наблюдает-

ся наибольшее генетическое разнообразие дикого маниока: это его прародина, а значит, это должна быть также родина и маниокового червца, и загадочного паразита, его контролирующего. Но поиски в этих «горячих точках» ничего не дали.

По счастливой случайности друг Херрена, который был в курсе его поисков, проезжая мимо маниокового поля в Парагвае, заметил несколько растений, выглядевших необычно. Он сорвал несколько скрученных листьев с этих растений и внутри них обнаружил этого самого червца. Затем сообщил Херрену о своей находке, и тот попросил его послать эти листья в Британский музей для изучения энтомологами. Оказалось, что эти мертвые червцы принадлежат к тому самому виду, который опустошает африканские плантации. А внутри червцов оказались личинки наездников — именно их-то и искал Херрен. По его просьбе парагвайские энтомологи собрали и отправили в Англию живых червцов, чтобы там можно было их размножить и отловить наездников, когда те покинут своих хозяев. Туда же были отправлены и образцы червцов из Африки: чтобы проверить, могут ли парагвайские наездники откладывать яйца в африканских червцов. Оказалось, что могут, и причем только в маниоковых червцах. В других видах червцов эти яйца не развивались. Это была «волшебная пуля»: высокоспециализированный паразит, опасный только для одного вида вредных насекомых. Теперь их можно было без опаски везти в Африку. И через три месяца Херрен получил там первую партию наездников.

Яцекладущие самки наездников были выпущены в окрестностях университета в Ибадане, всего через три месяца численность червцов на соседних плантациях упала в несколько раз. Стало понятно, что метод работает. И тогда Херрен начал размножать своих наездников

в промышленных масштабах, а его сотрудники разбрасывали начиненные ими поролоновые цилиндры над маниоковыми плантациями с самолетов сельскохозяйственной авиации. Через год проблема была решена везде без исключения. Парагвайские наездники прижились на африканских маниоковых полях, снизив численность вредителей до едва заметного уровня.

Эта история со счастливым концом позволяет понять, почему без паразитов нормальное функционирование природных экосистем практически невозможно. Высокая плодовитость насекомых не позволяет их непаразитическим естественным врагам (скажем, хищникам) успешно контролировать их численность и предотвращать вспышки массового размножения. Так, насекомоядные птицы не всегда могут надежно держать гусениц под контролем, так как они не могут наращивать свою численность доста-

точно быстро в ответ на рост численности насекомых. Кроме того, необходимы высокая специализация естественного врага и его способность искать и находить свою жертву даже при очень малой ее численности. Этими качествами обладают лишь насекомые-паразитоиды, откладывающие свои яйца в тела жертв, — наездники и паразитические мухи. Вот почему почти на каждый вид насекомых, потенциально способных давать катастрофические вспышки размножения, в природе имеется специализированный паразит, поражающий именно этот вид. И если почему-либо этот механизм регулирования дает сбой, результат оказывается для природной экосистемы весьма плачевным: огромные пространства лесов за считанные недели остаются без листвы, деревья гибнут, и на несколько десятилетий нормальное лесовосстановление в очагах поражения, скажем, непарным или си-

бирским шелкопрядом становится невозможным. Огромное видовое разнообразие насекомых — также следствие этого механизма контроля их численности: видообразование становится способом ухода из-под пресса специализированного паразита, на что тот быстро отвечает собственным видообразованием, а низкие численности и паразитов, и их жертв позволяют множеству видов насекомых сосуществовать на одной территории, избегая конкуренции. Так что сама сложность природных экосистем и их богатейшее видовое разнообразие — прямое следствие того факта, что мы живем в мире, в котором большинство видов паразитические.

В заключение хочется отметить, что книга богато иллюстрирована отличными фотографиями, позволяющими читателю познакомиться с «нечеловеческой», по словам автора, красотой мира паразитов. ■

Астрофизика

Г.С.Бисноватый-Коган. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АСТРОФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКАЯ КОСМОЛОГИЯ. М.: КРАСАНД, 2011. 376 с.

Эта книга посвящена двум тесно связанным областям астрофизики и состоит из двух соответствующих частей. Термин «релятивистская астрофизика» в применении к науке, зародившейся после открытия квазаров в 1963 г., появился в работе знаменитого квартета: Ф.Хойла, У.Фаулера, Г. и М.Бербиджей, — и эта наука получила очень быстрое развитие после обнаружения пульсаров, рентге-

новских и гамма-источников внутри и вне нашей Галактики. Словосочетание «физическая космология», видимо, впервые было использовано в названии книги Дж.Пиблса, вышедшей в 1971 г. Это название как нельзя лучше отражает суть нового этапа развития космологии, стоящего на фундаменте наблюдений реликтового излучения и его флуктуаций, статистического анализа глубоких обзоров галактик и их скоплений, а также на использовании новейших достижений в исследовании элементарных частиц и физических полей.

Быстрое развитие релятивистской астрофизики и физи-

ческой космологии сопровождалось написанием подробных монографий по разным вопросам тематики. В настоящей книге сделана попытка осветить современное состояние этих областей.

В значительной степени книга основана на курсе лекций, которые ее автор читал в течение последних нескольких лет студентам кафедры теоретической ядерной физики Московского инженерно-физического института. Она будет полезна как специалистам — физикам, астрофизикам, так и широкому кругу читателей, желающих глубже изучить строение окружающего мира.

История науки

В.Н.Танасийчук. ЦОКОТУХА ЛИ МУХА? ЗАПИСКИ СТАРОГО ЭНТОМОЛОГА. Отв. ред. С.Д.Степаньянц. М.: Т-во науч.изд.КМК, 2011. 410 с.

Автор книги, доктор биологических наук, сотрудник Зоологического института РАН (ЗИНа) Виталий Николаевич Танасийчук, известен не только как выдающийся энтомолог, но и как великолепный фотограф насекомых, а еще больше — как писатель. Он — автор множества увлекательных научно-популярных книг и статей.

По признанию самого автора, эта книга — лучшая из всего популярного, им написанного. Правда, она не столько о мухах, которых Виталий Николаевич изучал, сколько о дороге, которая привела его в науку, и «попутчиках» — о друзьях и коллегах, с которыми он проработал пятьдесят с лишним лет в стенах ЗИНа, ставшего любимым домом. А также об экспедициях и об одном из забытых ныне островков Гулага, а заодно о мамонтах и вырезанных в камне зверях и т.д. «Своим» мухам и истории изучения их способности стрекотать автор посвятил отдельную главу. Чтобы рассмотреть «стрекотательный» (стридуляционный) аппарат крошечной мухи с помощью сканирующего микроскопа, надо было сделать поверхность объекта электропроводящей. Для этого напыляется тончайший (доли микрона) слой золота. Автор пришел к очень важному открытию, при этом «пальмой первенства» он решил поделиться с... Корнеем Ивановичем Чуковским, давным-давно изложившим сущность методики в знакомой всем с детства формуле: «Муха, Муха-Цокотуха, позолоченное брюхо!».

История науки

ВИТАЛИЙ ГИНЗБУРГ В ВОСПОМИНАНИЯХ ДРУЗЕЙ И СОВРЕМЕННИКОВ. Сост. Ю.М.Брук. М.: Физматлит, 2011. 628 с.

Эта книга посвящена памяти выдающегося физика-теоретика, лауреата Нобелевской премии, академика Российской академии наук и просто замечательного человека Виталия Лазаревича Гинзбурга (1916—2009). В 1938 г. он окончил Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, в дальнейшем вся его научная жизнь была связана с Физическим институтом им.П.Н.Лебедева РАН.

Виталий Лазаревич был одним из немногих ученых-универсалов: его работы относились едва ли не ко всем разделам теоретической физики. Гинзбургу принадлежат фундаментальные результаты в теории сверхпроводимости и теории фазовых переходов, которые имеют приложения в самых разных областях физики. Им созданы крупные научные школы в радиофизике, астрофизике, физике конденсированных сред, а также теории распространения электромагнитных волн. Сегодня хорошо известна и его работа, связанная с созданием термоядерного оружия в нашей стране. Велика его роль в пропаганде науки, воспитании новых поколений ученых. Виталий Лазаревич был также крупным общественным деятелем, к его идеям и выступлениям прислушивались не только в Академии наук, но и в высших эшелонах власти.

Это вторая памятная книга, в которой собраны воспоминания друзей, коллег и учеников Гинзбурга. Первая же была издана небольшим тиражом в конце

2009 г. в Нижнем Новгороде. Виталий Лазаревич знал о подготовке этой книги, но увидеть ее ему уже не пришлось.

Почвоведение. Экология

М.В.Бобровский. ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ: биотические и антропогенные факторы формирования. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2011. 359 с.

В основе монографии — результаты многолетних исследований структурно-функциональной организации и сукцессионной динамики лесных экосистем в европейской части России. Началась эта работа со стремления автора понять причины соседства почв, относящихся к разным таксонам, в разных частях региона (от лесостепи до северной тайги). Объяснить отличия в строении почвенных профилей традиционными причинами (особенностями климата, рельефа, материнских пород, состава современной растительности) в большинстве случаев было невозможно. Помогли комплексный анализ лесных экосистем и обращение к истории традиционного природопользования как ведущему фактору преобразования природы.

Автор попытался рассмотреть совокупное влияние природных и антропогенных факторов на долговременную (сотни—тысячи лет) динамику почв лесной зоны Европейской России с точки зрения современных концепций экологии. В результате обобщения полевого материала и литературных данных разработаны представления о ключевой роли биоты и человека в формировании современного почвенного покрова как части биогеоценологического.

Экзотика кораллового рифа на банкнотах

Р.Майзингер
г.Мангейм (Германия)

Самый крупный барьерный риф Северного полушария находится у берегов Белиза (Центральная Америка). Он простирается почти на 260 км — от границы с Мексикой на севере до границы с Гватемалой на юге. Этот уникальный коралловый «лес» взят под охрану ЮНЕСКО, что приносит Белизу немалые доходы от экотуризма. Для поклонников дайвинга и сноркелинга барьерный риф — заветная цель. По биологическому разнообразию он может сравниться с Большим Барьерным рифом, который протянулся вдоль восточного побережья Австралии. И неудивительно, что изображения пестрых обитателей кораллового «леса» украшают не только страницы книг и рекламных буклетов, завлекающих в Белиз туристов, но и денежные знаки. Например, однодолларовая банкнота 1990 г. уникальна тем, что подводный мир Карибского моря отражен на обеих ее сторонах: на лицевой — рядом с портретом английской королевы две стайки коралловых рыб (рис.1).

Те, что устремлены слева направо, это разновидность (скорее всего гибрид) рыбы-ангела — ангел-изабелита королева (*Holocanthus ciliaris*). Свой «королевский титул» она, вероятно, получила за темно-синее пятно на лбу в ореоле ярко-голубого переливающегося кольца. Чтобы лучше представить себе, как окраска рыбки выглядит на самом деле, достаточно оранжевый цвет ее банкнотного изображения поменять на ярко-желтый.



Рис.1. Лицевая и оборотная стороны однодолларовой банкноты Белиза.

И вот перед нами ангел-изабелита королева во всей своей красе!

Не менее звучное название и у второй изображенной на купюре рыбки — королевского спинорога (*Balistes vetula*).

Встретить этого морского жителя можно во всей тропической части Атлантики. И уж, конечно, не заметить его трудно: помимо яркой внешности королевский спинорог отличается крупными



Рис.2. Рисунок красного групера на банкноте государства Аруба.

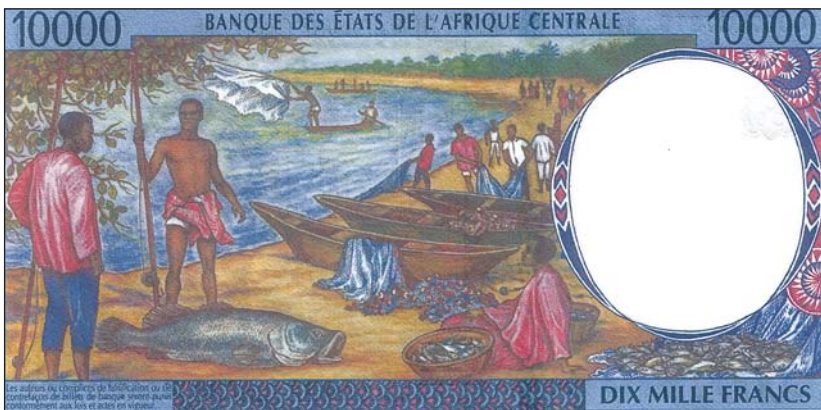


Рис.3, 4. Изображения гигантских групперов на купюрах Бразилии (вверху) и Содружества Центрально-Африканских государств.



Рис.5. Морской «сад» на багамском долларе.



Рис.6. Коралловый риф Карибского моря на однодолларовой банкноте Каймановых островов.

размерами — до 60 см в длину. Под изображением на оборотной стороне так и значится — «Marine life of Belize» («Морская жизнь Белиза»). На денежном знаке увековечены более 20 видов морских обитателей, из которых по меньшей мере 14 видов кораллов. На рисунке чуть выше краба, выбравшегося за рамку, нетрудно разглядеть рыбу-нож (*Equetus lanceolatus*) бледно-кофейной окраски с тремя черными, в серебряной обкладке, полосками. Любители аквариумистики ее обожают, однако приобрести эту рыбку (длиной до 25 см) довольно трудно. Дело в том, что она очень плохо переносит транспортировку, в связи с чем редко идет на импорт.

Следующая рыба, на купюре изображенная справа, также легко поддается определению. Это нассаурский группер (*Epinephelus striatus*) из семейства каменных окуней (Serranidae). Название указывает на тот район Карибского моря, где она была впервые описана, — у Багамских овов (г.Нассау). Отличительная черта этого вида — короткие брюшные плавники. Окраска тела оливково-серая, с нерегулярно чередующимися темными и светлыми поперечными полосками. Нассаурский группер отличается крупными размерами (длина более 1 м, масса до 25 кг) и вкусным мясом. Из-за чрезмерного вылова численность этой рыбы резко сократилась, а вид внесен в список МСОП.

Кстати, это не единственное изображение каменного морского окуня на банкнотах. Парочка таких рыб в привычной для них среде обитания показана на банковском билете номиналом в 200 франков одного из государств Западной Африки. Это локус, или белый группер (*E.aeneus*). Молодые локусы (меньше 60—70 см) обитают на относительно небольших глубинах — до 50 м. Однако со временем перебираются глубже (150—200 м) и нередко вырастают до 120 см. Рисунок красного

группера (*Epinephelus morio*) помещен на банкноте государства Аруба (Малые Антильские о-ва) в 500 флоринов 1993 г. (рис.2).

За умение копать известняковое дно и устраивать себе жилища среди кораллов эту удивительную рыбу прозвали архитектором морских глубин. Отдельные туннели, вырытые красным группером, могут достигать 5 м в длину и 1 м в ширину, при этом «рост» самого строителя редко превышает 60 см.

Самые крупные виды каменных окуней — группер-голиаф (*Eitajara*) с красивым пятнистым окрасом и гигантский группер (*E.lanceolafus*) — запечатлены, соответственно, на банкноте Бразилии в 100 риалов 1994 г. (рис.3) и на купюре Содружества Центрально-Африканских государств номиналом в 10 тыс. франков 1997 г. (рис.4). Отдельные экземпляры этих рыб могут достигать длины в 3,6 м и весить до 400 кг. Это настоящие великаны, и, защищая свою территорию, они могут серьезно ранить неосторожного ныряльщика.

Красочные подводные пейзажи украшают деньги и других государств, имеющих морское побережье. В их числе багамский доллар 1974 г. (рис.5). Под рисунком английская надпись — «Sea garden» («Морской сад»). С этим утверждением художника нельзя не согласиться. В ветвях мягких кораллов мелькают (слева направо) желтые губаны (*Halichoeres chrysus*), величаво фланирует рыба-ангел, стремительно проносится рабирубия, или кубинский желтохвост (*Ocyurus chrysurus*), кормится стайка желтополосой ронки (*Haemulon flavolineatum*). Великолепный вид на коралловый риф Карибского моря с королевским ангелом можно отыскать и на однодолларовой банкноте с Каймановых о-вов, запущенной в обращение в 1996 г. (рис.6).

К радости собирателей морских раковин, изображения естественной брони моллюсков



Рис.7. Марокканская купюра.



Рис.8. Бермудская 50-долларовая банкнота.



Рис.9, 10. Изображения акул на денежном знаке Коста-Рики (вверху) и Островов Кука.

также встречаются на бумажных денежных знаках. Чтобы в этом убедиться, достаточно взглянуть на марокканскую купюру в 200 дирхемов 1987 г., где запечатлена раковина брюхоногого моллюска *M.brandaris*, которую еще называют пурпуровой улиткой древних (рис.7). В стенке мантии этого моллюска есть железа, секрет которой с древних времен используется в качестве красителя тканей (тирский пурпур). Известно более 350 современных видов этого рода и более 550 — ископаемых. Немецкое название раковины — Herkuleskeule, или «дубинка Геркулеса»: она

и в самом деле напоминает увесистую палицу.

Для любителей подводного плавания в Карибском море найдется немало мест, отвечающих их самым высоким требованиям. Ведь на дне этого огромного природного резервуара чего только нет. Помимо богатой видами морской фауны под водой захоронены неисчислимые остатки судов всех времен и народов. Затонувшие каравеллы и бригантины до сих пор не потеряли своего таинственного шарма для многочисленной армии искателей сокровищ, запечатленных на 50-долларовых банкнотах Бермуд (рис.8).

Океанские глубины таят для любителей дайвинга и немало опасностей. Известны случаи нападения на людей акул. Дурной славой пользуется гигантская (до 6 м длиной) молотоголовая акула (*Sphyrna mokarran*). Однако нападает на людей она крайне редко; жертвами этого агрессивного хищника становятся рыбы и головоногие моллюски. На костариканской купюре эта акула изображена вместе с дельфином (рис.9). А на банкноте в 10 долларов с островов Кука проиллюстрирована местная легенда о богине Ине и ее удивительном путешествии верхом на морской разбойнице (рис.10).■

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

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

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

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

Подписано в печать 15.06.2012
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 318
Набрано и сверстано в редакции

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