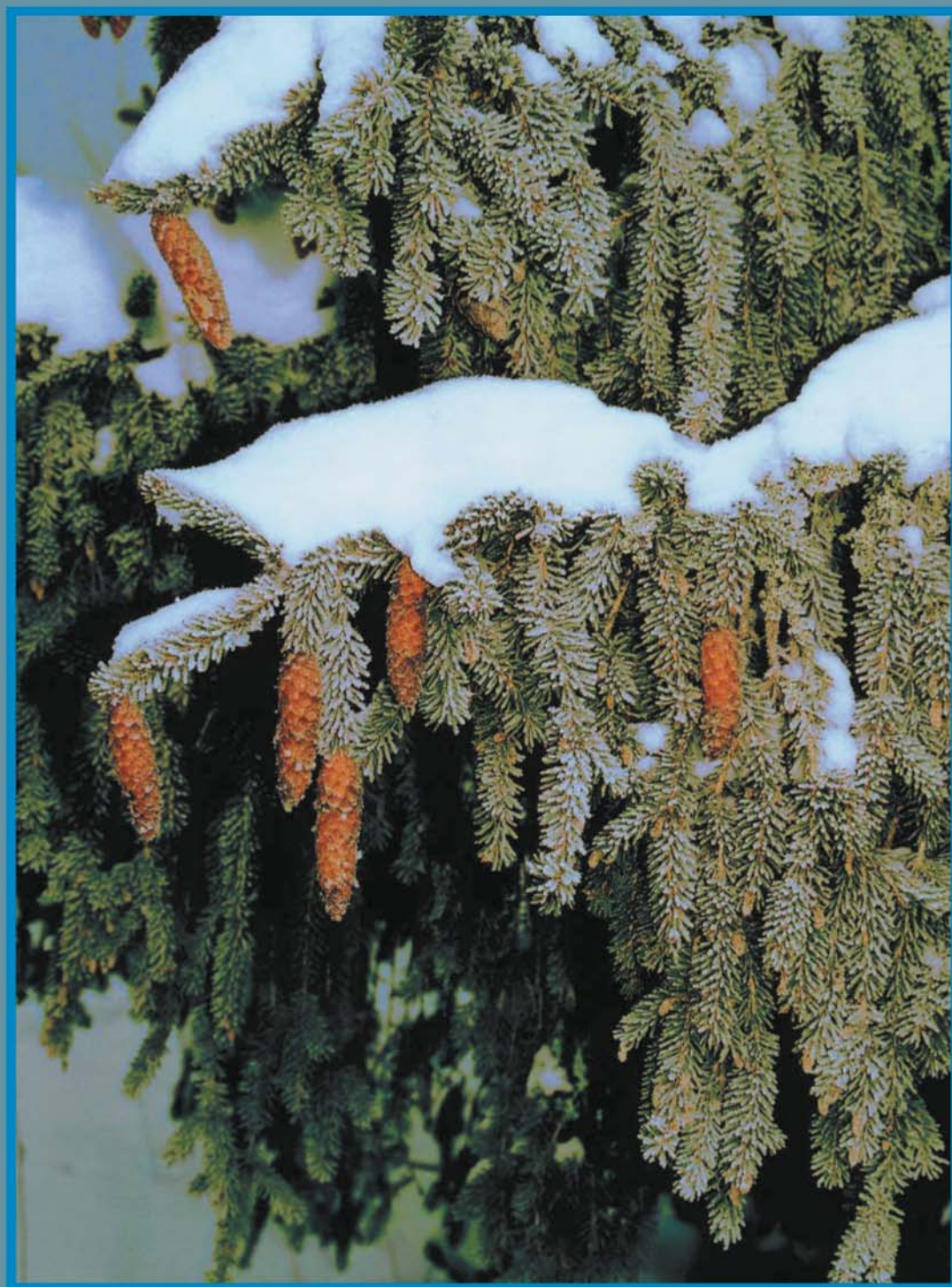


ПРИРОДА

2 06



В НОМЕРЕ:**3 ПОЗНАВАЯ МИКРО- И МАКРОМИР**

НИИЯФ МГУ, отмечающий в феврале свое 60-летие, — широко известный в стране и за рубежом научно-учебный центр. В нем ведутся исследования по физике ядра и взаимодействия излучений с веществом, астрофизике космических лучей и космической физике, физике высоких энергий и информационным технологиям. Они ориентированы прежде всего на достижение приоритетных результатов, но при этом современные физические методики внедряются в студенческие практикумы, студентам прививается интерес к научным изысканиям, обеспечивается преемственность поколений в научных школах.

Романовский Е.А.**Интеграция науки и образования (3)****Саврин В.И.****Всем миром — к тайнам микромира**
Сотрудничество в области физики высоких энергий (7)**Хренов Б.А., Панасюк М.И.****Посланники космоса:
дальнего или ближнего?**
Космические лучи
ультравысокой энергии (17)**26 Володин И.А., Володина Е.В.****Скромное очарование
нелинейностей**О скулении собак, голосе Высоцкого,
алтайском пении, и не только

Что придает голосу животных, будь то человек, собака или землеройка, индивидуальность? Как оказалось, повинны в этом вокальные нелинейности, возникновение которых связано со структурными и функциональными особенностями голосового аппарата.

33 Мирлин Е.Г.**Вихри и смерчи
в твердых оболочках Земли:
возможны ли они?**

Долгое время вихреобразные структуры в литосфере считались геологической экзотикой, но в последние годы выяснилось, что вихревые движения играют весьма существенную роль в эволюции твердых оболочек Земли.

Биография современника**43 Тишков А.А.****Он сердце оставил в валдайских
лесах**

Памяти М.В.Глазова

54 Животовский Л.А.**Место красит человека**

Эволюция человека за последние десятки тысяч лет была не просто эволюцией биологического вида как физическая адаптация к условиям жизни, но в первую очередь эволюцией мысли и культуры.

60 Тойка А.М., Третьяков Ю.Д.**От Гиббса до Пригожина****69 Ман И.А.****Острова в Южном океане****80****Некролог****Памяти академика В.А.Струнникова****81****Новости науки**

Второе рождение объекта Сакураи (81). Впервые сделан снимок экзопланеты? **Вибе Д.З.** (81). Пряжа из многослойных нанотрубок (82). Вида — два, морфология — одна (83). База кариологических данных о голосеменных. **Князева С.Г., Муратова Е.Н.** (84). Реконструирован вирус «испанки» 1918 года (84). Пауки-скакунчики — двойное исключение. **Марусик Ю.М.** (85). Дыхание Амазонки. **Гиляров А.М.** (85). Чтобы в море не топили корабли. **Померанец К.С.** (86). Петроглифы азиатского Заполярья. **Дэвлет Е.Г.** (87).

Коротко (79)

Рецензии**89 Михайловский А.Б.****Народный герой, о котором пока
не знает народ****92****Новые книги****В конце номера****94 Кузьмин А.В.****Небесный Единорог**

CONTENTS:

3 INVESTIGATING MICRO- AND MACROWORLD

D.V.Skolbel'syn Institute of Nuclear Physics of Moscow State University, celebrating in February its 60th anniversary, is a research and educational institution well known in our country and beyond it. Here are conducted studies on nuclear physics and interactions of radiation with matter, cosmic rays astrophysics and space physics, high energy physics and information technologies. They are aimed, first of all, to obtain front-edge results, but up-to-date physical methods are also incorporated into education, students are motivated to participate in scientific research, and experience transfer in scientific schools is ensured.

Romanovsky E.A.

Integration of Science and Education (3)

Savrin V.I.

Conjointly to Mysteries of Microworld International Cooperation in High Energy Physics (7)

Khrenov B.A., Panasyuk M.I.

Messengers from Space: Far or Near? Ultrahigh Energy Cosmic Rays (17)

26 Volodin I.A., Volodina E.V.

Modest Charm of Nonlinearities On Whine of Dogs, Vysotsky's Voice, Altai Singing and Something Else

What gives individuality to voices of mammals — as for instance, of humans, dogs or shrews? It turns out that the answer lies in vocal nonlinearities that arise from structural and functional peculiarities of their vocal organs.

33 Mirlin E.G.

Whirls and Vortices in Earth Crust: Are They Possible?

For long time whirl-like structures in lithosphere were regarded as geological exotics, but in recent years it became evident that vortical movements play a rather vital part in evolution of Earth crust.

Biography of Our Contemporary

43 Tishkov A.A.

He Left His Heart in Valday Forests To Memory of M.V.Glazov

54 Zhivotovsky I.A.

Domicile Defines Human Appearance

Human evolution during last tens thousand years was not simply biological adaptation of this species to environmental conditions, but first of all the evolution of thought and culture.

60 Toikka A.M., Tretyakov Yu.D.

From Gibbs to Prigogine

69 Man I.A.

Islands in Southern Ocean

80

Obituary Notice

In Memory of Academician V.A.Strunnikov

81

Science News

Second Birth of Sacurai Object (81). The First Photograph of Exoplanet? **Wiebe D.Z.** (81). Multi-layer Nanotubes Yarn (82). Two Species, One Morphology (83). Karyology Database for Gymnosperms. **Knyazeva S.G., Muratova E.N.** (84). Influenza Virus of 1918 Pandemic Is Reconstructed (84). Spiders *Cybra algerina* — a Double Exception. **Marusik Yu.M.** (85). Breath of Amazon. **Ghilyarov A.M.** (85). To Prevent Shipwrecks. **Pomeranets K.S.** (86). Petroglyphs of Trans-Polar Asia. **Davlet E.G.** (87). **In Brief (79)**

Book Reviews

89 Mikhailovsky A.B.

National Hero Who for the Time Being Is Unknown to Nation

92

New Books

End of Issue

94 Kuzmin A.V.

Celestial Unicorn

ПОЗНАВАЯ МИКРО- И МАКРОМИР

Интеграция науки и образования



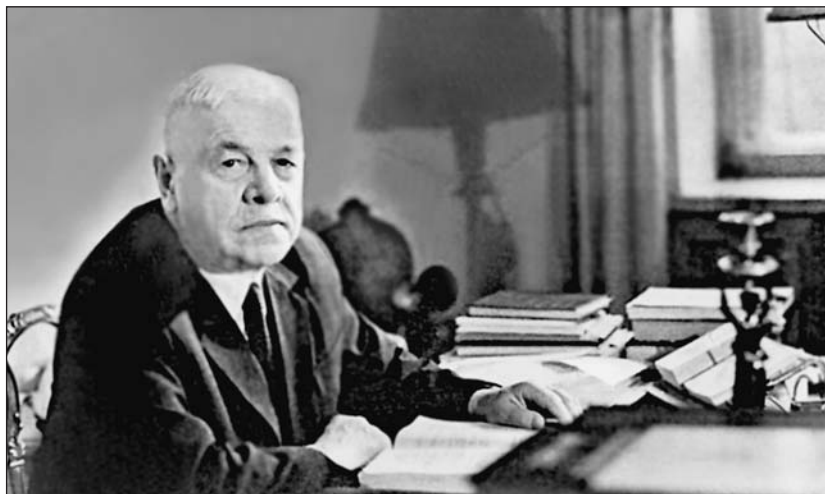
1 февраля 2006 г. одному из крупнейших научно-исследовательских подразделений Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова — Научно-исследовательскому институту ядерной физики им. Д. В. Скобельцына — исполняется 60 лет. По Специальному постановлению Совнаркома институт был организован как научно-исследовательский центр подготовки специалистов для работ по советскому атомному проекту. Инициатором создания НИИЯФ МГУ и его первым директором стал Дмитрий Владимирович Скобельцын (1882—1990). Герою Социалистического Труда, лауреату Ленинской и Государственной премий академику Скобельцыну принадлежат выдающиеся результаты и идеи, на десятилетия предвосхитившие развитие ряда областей физики. Это и экспериментальное доказательство справедливости квантовой электродинамики, и выяснение природы космических лучей, и открытие космических ливней — ядерно-каскадного процесса в космических лучах. Скобельцын по праву считается основоположником нового направления в науке — физики высоких энергий. Его яркая роль неоднократно отмечалась такими знаменитыми современниками, как Э. Резерфорд, В. Гейзенберг, П. Дирак, Ф. Жолио-Кюри и др.

В МГУ подготовка специалистов по ядерной физике началась в 1940 г. на кафедре атомного ядра и радиоактивности, которую возглавил Скобельцын. Помимо него, лекции студентам читали будущие академики

С. Н. Вернов и И. М. Франк, а с 1944 г. к профессорам кафедры присоединились академик И. В. Курчатов, будущий академик В. И. Векслер, Л. В. Грошев и др. В том же году при кафедре была открыта лаборатория атомного ядра, где ее заведующий Вернов развернул исследования космических лучей в стратосфере, а профессор Грошев и доцент В. С. Шпинель впервые в СССР начали изучать структуру атомного ядра методами β - и γ -спектроскопии. Вернов и Грошев, как, впрочем, и Скобельцын, работали одновременно в ФИАН СССР, так что эти исследования велись как совместные двух коллективов. Инициатива Скобельцына по созданию в МГУ института на базе кафедры и лаборатории была поддержана Курчатовым, который считал необходимым, чтобы в университете под руководством АН СССР «велась работа по атомному ядру и воспитывались кадры молодых физиков, столь необходимые для успешного движения вперед всей работы». НИИЯФ МГУ с самого начала формировался как институт, в котором были заложены, а в дальнейшем развиты принципы интеграции высшего образования и академической науки. После создания НИИЯФ подготовка специалистов на его базе вначале шла на кафедре строения вещества, а с 1949 г. — на отделении ядерной физики (ОЯФ) физического факультета МГУ из пяти кафедр: атомного ядра, нейтронной физики и радиоактивных излучений, ядерной спектроскопии, ускорителей, космических лучей. Все подготовленные физики-ядерщики поступали в распоряжение Пер-

вого главного управления при СМ СССР (позднее Минсредмаша). Около половины студентов выполняли дипломные работы в НИИЯФ, а другая половина — в профильных и академических институтах. С расширением ядерно-физических исследований в нашей стране на ОЯФ открывались новые кафедры, а в институте — новые исследовательские подразделения. В настоящее время на отделении, которым заведует директор института с 1991 г., профессор М. И. Панасюк, специалистов готовят девять кафедр: общей ядерной физики, физики атомного ядра и квантовой теории столкновений, нейтрографии, космических лучей и физики космоса, квантовой теории и физики высоких энергий, физики элементарных частиц, физики ядерных взаимодействий и ускорителей высоких энергий, атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники, оптики и спектроскопии. За 60 лет на базе НИИЯФ МГУ отделение подготовило свыше 5000 специалистов. Выпускники ОЯФ внесли достойный вклад в создание ядерного щита страны, всестороннее развитие фундаментальных исследований в области ядерной физики, физики космоса, атомной физики, квантовой электроники. В числе выпускников — Герои Социалистического Труда, лауреаты Ленинских и Государственных премий, руководители крупнейших научных центров и учебных заведений, 19 академиков и 19 членов-корреспондентов РАН.

С самого начала Скобельцын и его ученик Вернов (в 1960—1982 гг. директор НИИЯФ и заве-



Академик Д.В.Скобельцын в рабочем кабинете.

дующий ОЯФ, впоследствии Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий) создавали институт как крупный научно-учебный центр, обладающий современной экспериментальной базой. Уже через три года был запущен первый в системе Минвуза СССР циклотрон, а после переезда МГУ в новое помещение на Ленинских горах — комплекс из нескольких ускорителей. Большая роль в этом принадлежит профессору С.С.Васильеву. Сегодня институт располагает ускорительным комплексом, включающим ускорители ионов и электронов до нескольких десятков МэВ. Эти ускорители используются для проведения фундаментальных исследований и прикладных работ по ядерной и атомной физике.

Для изучения физических явлений в межпланетной среде и околоземном космическом пространстве с начала космической эры в институте были разработаны, изготовлены и установлены на 260 космических аппаратах исследовательские приборы, анализ информации с которых позволил глубже познать процессы в космосе. В последние годы совместно с институтами РАН, Росатома и другими научными центрами России

НИИЯФ участвует в создании нейтринного телескопа на оз.Байкал и детекторов частиц для ускорительного комплекса в Институте физики высоких энергий в Протвино. Институт предложил концепцию и изготовил комплект новой научной аппаратуры для российского спутника «Университетский». Здесь созданы и постоянно совершенствуются локальная компьютерная сеть и узел высокоскоростной телекоммуникационной связи с выходом на мировые компьютерные сети, развиваются информационные технологии. Собраны полные международные базы данных по всем известным (~3200) стабильным и радиоактивным ядрам и ядерным реакциям под действием фотонов, нейтронов, заряженных частиц и тяжелых ионов*.

В институте выполняются фундаментальные исследования по ядерной физике и физике взаимодействия излучений с веществом, астрофизике космических лучей и физике высоких энергий. Они ориентированы в первую очередь на достижение приоритетных результатов, но при этом современные физи-

* Более детально см.: *Варламов В.В., Бобошин И.Н.* Во многом знания — новое знание! Базы данных как метод исследования // Природа. 2005. №12. С.29—38).

ческие методики внедряются в студенческие практикумы, студентам прививается интерес к исследовательской работе, обеспечивается преемственность поколений в научных школах.

Достижения института получили широкую известность и признание (у сотрудников — 12 зарегистрированных открытий, три Ленинские, 12 Государственных премий СССР и множество других наград). Пользуется он авторитетом и за рубежом, будучи в рамках долгосрочных соглашений партнером 34 зарубежных научных центров 14 стран и участвуя в подготовке и выполнении крупных экспериментальных проектов на ускорителях в ДЭЗИ (Германия), ЦЕРНе (Швейцария), Брукхейвенской и Фермиевской национальных лабораториях (США) и др.

Не имея места для обзора работ института, упомянем лишь о том, какое влияние на развитие науки оказали некоторые открытия, сделанные в институте.

До конца 40-х годов природа первичного космического излучения оставалась невыясненной. Решающую роль сыграли исследования космического излучения в стратосфере, проведенные Верновым с сотрудниками НИИЯФ и ФИАН. Было установлено, что основная компонента космических лучей в окрестности Земли — это протоны. Для определения энергии первичных частиц в НИИЯФ была реализована идея ионизационного калориметра, сформулированная ранее Скобельцыным. Сейчас ионизационные калориметры являются наиболее точными и надежными приборами для измерения энергии адронов, электронов и фотонов высоких и сверхвысоких энергий и широко используются во всех экспериментах на ускорителях высоких энергий. С.Н.Верновым и будущим академиком Г.Б.Христиансенем с сотрудниками были предложены и реализованы новые методы исследо-

вания космических лучей сверхвысоких энергий. Благодаря им были открыты особенности в их энергетическом спектре при энергии $\sim 3 \cdot 10^{15}$ эВ, а также во взаимодействии частиц с энергией $10^{17} - 10^{20}$ эВ с атомными ядрами*.

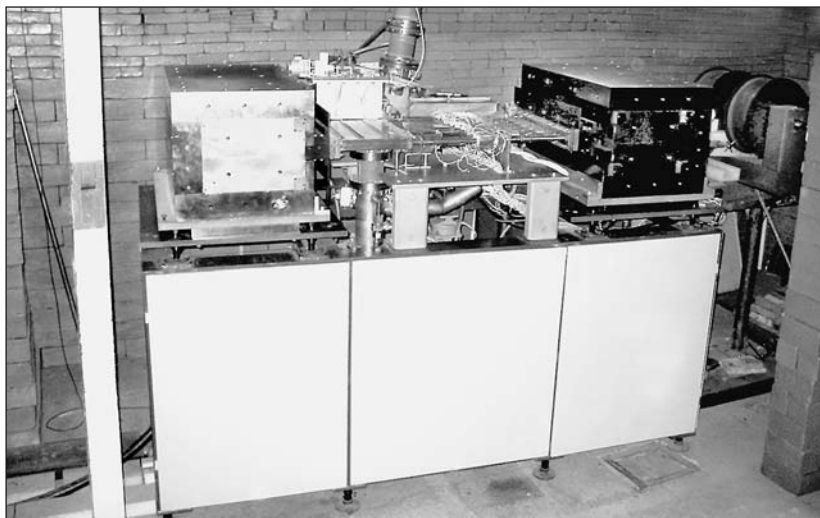
Вернов и его ученики были в СССР наиболее подготовлены к началу экспериментов в космическом пространстве. НИИЯФ стал участником таких экспериментов по предложению Скобельцына. Их первыми итогами были: открытие внешнего электронного пояса Земли, установление природы внутреннего радиационного пояса Земли, открытие аномалии в планетарном распределении радиации в околоземном пространстве. Ставшая классической теория образования радиационных поясов Земли была создана в НИИЯФ профессором Б.А.Тверским. Большинство обнаруженных за последнее десятилетие эффектов в радиационных поясах либо предсказаны, либо объяснены в рамках данной теории.

В тесной связи с этими исследованиями шло изучение воздействий космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Работы были инициированы прямыми обращениями ведущих конструкторов космической техники академиков С.П.Королева, В.Н.Челомея, Г.Н.Бабакина, М.Ф.Решетнева. Коллектив, развивающий это направление, которое получило название «космическое материаловедение», разработал и внедрил в ракетно-космическую промышленность методы имитации воздействия космических излучений на материалы и оборудование ИСЗ, а также методы прогнозирования стойкости материалов и элементов оборудования и их защиты. Благодаря исследованиям, проведенным в НИИЯФ, были решены принципиальные

* Подробнее об этом можно узнать из статьи Б.А.Хренова и М.И.Панасюка в данном номере журнала.



Академик С.Н.Вернов. Доклад на конференции по вопросам космофизики.



Сверхкомпактный электронный ускоритель — импульсный разрезной микротрон на энергию пучка 70 МэВ.

вопросы продления срока службы солнечных батарей в космическом пространстве. В институте создана физико-математическая модель электризации космических аппаратов, обусловленной воздействием на них магнитосферной плазмы и заряженных частиц радиационных поясов. Предложены и внедрены методы защиты космических аппаратов от электризации.

На первом этапе развития в НИИЯФ исследований по физике высоких энергий в инсти-

туте был организован крупнейший просмотрово-измерительный центр, где проводилась обработка экспериментальных данных, полученных с использованием ускорителей. С начала 80-х годов институт становится участником нескольких крупных международных проектов по физике высоких энергий. Большая заслуга в развитии международных связей института принадлежала И.Б.Теплову (1928—1991). Профессор, лауреат Государственной премии Теплов был с 1982 по 1991 г. ди-



Профессора И.Б.Теплов, М.И.Панасюк и летчик-космонавт Г.С.Титов.

ректором НИИЯФ и заведующим ОЯФ. Здесь отметим только*, что сотрудники НИИЯФ внесли заметный вклад в крупнейший международный эксперимент Национальной ускорительной лаборатории (США), когда был обнаружен шестой (самый тяжелый) кварк, так называемый топ-кварк. Это открытие имело фундаментальное значение для окончательного подтверждения современной объединенной теории электрослабого и сильного взаимодействий (Стандартной модели).

Исследования по физике атомного ядра, атомной физике, квантовой электронике были начаты вскоре после создания института. Основную роль в их развитии и получении результатов, отмеченных открытиями и научными наградами, сыграли оставленные для работы в институте выпускники ОЯФ. Здесь выполнен большой цикл работ по мессбауэровской спектроскопии, определивший новую область исследований в ядерной физике, физики сверхнизких температур и химии. Изучение

* О работах института по физике высоких энергий в сотрудничестве с ЦЕРНОм рассказывается в статье В.И.Саврина в этом номере журнала.

фотоядерных реакций существенным образом изменило представления о формировании гигантских резонансов в атомных ядрах; были выдвинуты теория ассоциирования нуклонов в атомных ядрах, теория неаксиальных ядер, обнаружен и исследован ряд новых ядерных эффектов, нашедших широкое использование в ядерно-физических исследованиях. В сотрудничестве с другими организациями разработан и построен ряд ускорителей электронов, превосходящих по совокупности характеристик аналоги из других научных центров. Изготовлены первый в стране парамагнитный усилитель и мощный CO_2 -лазер, высокочувствительные квантовые магнитометры.

Об одном из таких открытий — открытии «эффекта теней», сделанного бывшим фронтовиком, выпускником ОЯФ, профессором А.Ф.Тулиновым следует рассказать несколько подробнее. В поисках методов измерения времени протекания ядерных реакций сверхмалой (по ядерным меркам) длительности он предложил проводить исследования ядерных реакций на мишенях из монокристаллов. При изучении рассеяния

частиц монокристаллами Тулинов в 1965 г. обнаружил новое физическое явление. Оказалось, что при облучении монокристаллов потоком ускоренных частиц в угловых распределениях рассеянных частиц и продуктов ядерных реакций появляются характерные минимумы интенсивности (тени), чрезвычайно рельефно воспроизводящие структуру кристалла. Для определения структуры кристаллов по своей эффективности метод сравним с классическим методом рентгенографии. О его потенциале красноречиво говорит тот факт, что с момента открытия эффекта вопросам его исследования и использования были посвящены 35 Международных конференций, организованных и прошедших в НИИЯФ. На основе эффекта теней предложен и разработан метод измерения времени протекания ядерных реакций в области 10^{-15} — 10^{-19} с; с его помощью обнаружено новое явление, существенное для понимания процессов, которые происходят при делении тяжелых атомных ядер. Более глубокое познание процесса деления тяжелых ядер важно на современном этапе развития ядерной энергетики.

Вступая в следующее десятилетие своего развития при современной экономике и реформе образования и науки, институт нацелен на создание таких условий для научной и учебной деятельности, которые позволяют сохранить и развивать научные школы, добиваться выдающихся новых научных результатов в познании атомного ядра и космоса. Ведущие специалисты института расскажут о современных направлениях работы в этом и следующих номерах журнала. ■

© Романовский Е.А.,
доктор физико-математических наук
НИИЯФ МГУ

Всем миром — к тайнам микромира



Сотрудничество в области физики высоких энергий

В.И.Саврин

Бурное развитие фундаментальной науки в 20-м столетии сделало ее интернациональной: различные страны мира объединяют усилия и ресурсы для решения научных проблем, лежащих в основе научно-технического прогресса. И дело не только в том, что современные исследования требуют больших материальных затрат, которые часто не под силу даже самому экономически развитому государству. Сложность этих проблем требует сосредоточения интеллектуального потенциала многих ученых, что стало возможным благодаря резкому скачку в развитии информационной среды, столь характерному для прошлого века.

В первую очередь все это относится к физике высоких энергий, запрашивающей огромных технологических усилий. Специалисты НИИЯФ МГУ — института, который не располагает собственными мощными ускорительными установками, — имеют возможность работать в данной области именно благодаря совместным проектам, и прежде всего с ЦЕРНом [1].

Мировой флагман физики частиц

ЦЕРН — это крупнейший в мире и единственный в своем роде научно-исследовательский



***Виктор Иванович Саврин**, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора НИИЯФ МГУ по научной работе. Занимается исследованиями в области физики высоких энергий и квантовой теории поля.*

центр в области физики элементарных частиц. Он расположен к западу от Женевы на территории Швейцарии и Франции у подножия горного массива Юра, где геологические и сейсмические условия позволяют без опасения строить ускорители элементарных частиц.

Идея создания ЦЕРНа принадлежит французскому физiku, нобелевскому лауреату Луи де Бройлю. В 1949 г. на европейской конференции по культуре в Лозанне он предложил создать международную организацию для проведения фундаментальных научных исследований, объем и сущность которых не под силу какому-либо одному национальному институту. Это начинание было противовесом милитаристскому использованию знаний в области ядерной физики после второй мировой войны. Его поддержали правительства европейских госу-

дарств, и уже в 1954 г. Европейский центр по ядерным исследованиям появился на свет. ЦЕРН был одним из первых в Европе совместных учреждений и стал блистательным примером международного сотрудничества на благо мирной науки. От 12 стран, подписавших конвенцию по ЦЕРНу, членство в нем к настоящему времени выросло до 20 стран-участниц. Около 7000 ученых — половина всех физиков мира, изучающих частицы, — пользуются экспериментальным оборудованием ЦЕРНа. Они представляют 500 научных центров и университетов из 80 стран. В числе более 40 физических экспериментов, проводимых в ЦЕРНе, нет ни одного «национального», все работы — плоды интеллектуальных, технологических и финансовых усилий институтов и университетов многих стран мира. Среди самых значимых результатов:

— изобретение многопроводных пропорциональных и дрейфовых камер (1968);

— обнаружение нейтральных токов слабого взаимодействия (1973);

— открытие W- и Z-бозонов, подтвердившее теорию объединения слабых и электромагнитных взаимодействий (1983);

— изобретение распределенной информационной сети WWW (1990);

— синтез первого атома антивещества (1995);

— получение кварк-глюонной плазмы — сверхплотного состояния вещества, в котором находилась Вселенная в первые микросекунды после ее образования (2002).

— регистрация прямого нарушения CP-четности, которое позволяет объяснить, почему в нашей Вселенной практически не осталось антивещества (2003).

СССР, а теперь Россия — один из главных партнеров ЦЕРНа из числа стран — не членов этой организации на протяжении почти 40 лет (первое соглашение о сотрудничестве было подписано в 1967 г.). В те времена Советский Союз занимал одно из ведущих мест в развитии физики высоких энергий, были созданы выдающиеся научные школы в этой области науки, построен самый мощный в мире ускоритель У70 под Серпуховом (в Протвино). В экспериментах на нем в рамках упомянутого соглашения с 1968 по 1975 г. участвовали многие европейские ученые. ЦЕРН поставил научную аппаратуру стоимостью около 100 млн швейцарских франков для программы из 10 совместных экспериментов, по которой работали более 300 физиков.

Среди них были и сотрудники нашего института, участвовавшие в обработке снимков с пузырьковых камер. В 70-х годах в Протвино начала работать большая жидководородная пузырьковая камера «Мирабель», изготовленная в Сакле (Франция). С ее помощью удалось ис-

следовать множественное рождение частиц в соударениях различного типа адронов при энергии 32 ГэВ, в том числе странных частиц, и взаимодействия на кварк-глюонном уровне. В частности, был изучен процесс аннигиляции протонов и антипротонов «на лету» на кварковом уровне.

В 1975—1989 гг. поле совместной деятельности советских и европейских физиков переместилось в ЦЕРН, где был введен в строй более мощный ускоритель — SPS — с энергией 400 ГэВ, и наши физики участвовали в 15 экспериментах. В НИИЯФ МГУ был создан крупный измерительно-вычислительный центр для обработки и анализа снимков с пузырьковых камер. В этом центре проходила обработка снимков с камеры вершинного детектора Европейского гибридного спектрометра, работавшего на ускорителе SPS. Эти эксперименты проходили в основном в 80-х годах, послужив завершающей фазой эпохи пузырьковых камер, и анализ их результатов продолжается до сих пор: измеряются сечения образования резонансов и изучаются корреляционные явления разного типа при множественном рождении частиц.

Одновременно в ЦЕРНе с участием российских институтов шла подготовка к экспериментам на ускорителе следующего поколения — Большом электрон-позитронном коллайдере (LEP). Эксперименты на LEP велись с 1989 по 2000 г., и за это время промышленность России изготовила и поставила в ЦЕРН уникальное научное оборудование общей стоимостью около 100 млн швейцарских франков.

В 1993 г. было подписано Соглашение между Правительством Российской Федерации и ЦЕРНОм о дальнейшем развитии научно-технического сотрудничества в области физики высоких энергий, а в 1996 г. — Протокол между Министерством науки и технической политики РФ и ЦЕРНОм об участии

России в проекте «Большой адронный коллайдер» (Large Hadron Collider, LHC) — крупнейшем международном научном проекте конца XX — начала XXI в. В тот же год Россия получила статус наблюдателя в Совете ЦЕРНа, и с тех пор российские представители участвуют во всех заседаниях по подготовке экспериментов на LHC.

Под прицелом протоны

LHC — ускоритель частиц, благодаря которому физики смогут проникнуть так глубоко внутрь материи, как никогда ранее. Он будет построен в подземном кольцевом туннеле длиной 27 км на глубине около 100 м (в том же туннеле, в котором работал коллайдер LEP, что намного удешевит строительство) и позволит сталкивать протоны с небывалой до сих пор энергией — 14 ТэВ (это примерно в миллион раз больше, чем энергия, выделяющаяся в элементарном акте термоядерного синтеза). Экспериментальные физические исследования на коллайдере LHC предполагается начать в 2007 г.

Протонные пучки были выбраны именно с целью достижения максимально возможной энергии в заданном кольце ускорителя. Дело в том, что движение заряженных частиц по круговой орбите сопровождается большими потерями энергии в результате мощного синхротронного излучения, интенсивность которого обратно пропорциональна четвертой степени массы ускоряемой частицы. Можно представить себе, насколько выше эти потери при ускорении, например, электронов в том же кольце, если масса электрона почти в 2000 раз меньше массы протона. Именно поэтому максимальная энергия электронов и позитронов в коллайдере LEP достигала лишь 100 ГэВ.

Цель экспериментов на LHC — изучение фундаменталь-

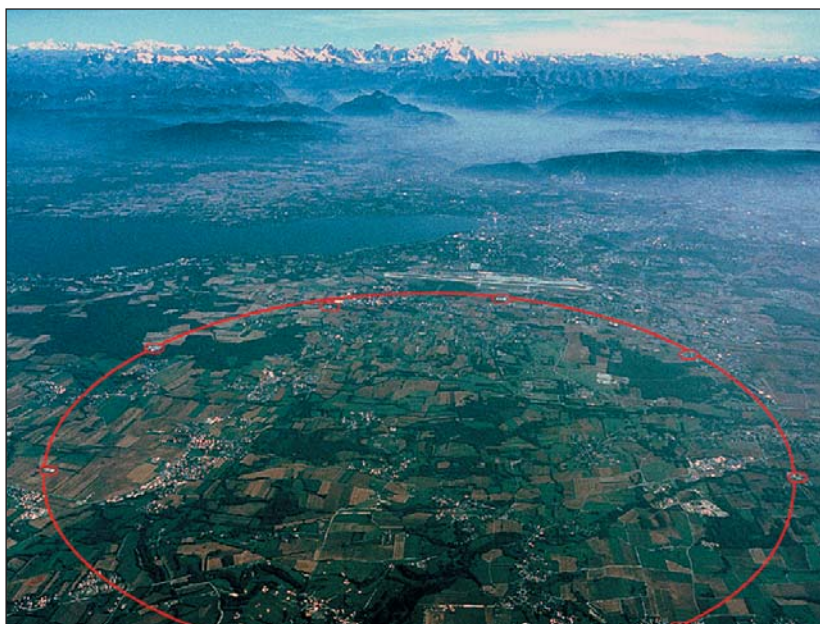
нейших вопросов мироздания. Из чего состоит вещество? Откуда оно появилось? Какие силы действуют между элементарными частицами и объединяют их в сложные объекты, окружающие нас? Каково вообще происхождение нашей Вселенной и каковы законы, определяющие ее развитие?

Новый ускоритель должен поднять нас на новую ступень в ряду открытий физики частиц, которые начались столетие назад. Тогда ученые еще только обнаружили всевозможные виды таинственных лучей: рентгеновские, катодное излучение, α и β -лучи — и задумались: откуда они возникают, одинаковой ли они природы, и если да, то какая она? Теперь у нас есть ответы на многие вопросы, позволяющие гораздо лучше понять окружающий нас мир, происхождение Вселенной. Постепенно, шаг за шагом, эти открытия изменили и нашу повседневную жизнь, подарив нам приемники, телевизоры, компьютеры, томографию, Интернет... Однако в самом начале XXI в. перед нами стоят новые вопросы, ответы на которые мы надеемся получить с помощью ускорителя ЛНС. И кто знает, развитие каких новых областей человеческих знаний повлекут за собой предстоящие исследования.

Пока же наши знания о Вселенной недостаточны. Считается, что Вселенная возникла в результате так называемого Большого взрыва материи. Вначале все было сжато в очень маленьком объеме, не более песчинки. Все частицы, из которых сегодня состоит вещество, все вокруг нас и мы в том числе еще должны были сформироваться. Спустя 15 млрд лет Вселенная стала такой огромной, что даже свет проходит ее насквозь за миллионы лет. Сегодня мы живем в «холодной» Вселенной, где существуют четыре вполне определенные силы, действующие на вещество: электромагнитное, сильное, слабое и гравитационное взаимодействия. В более раннем



Павильон «Глобус», построенный к 50-летию ЦЕРНа.



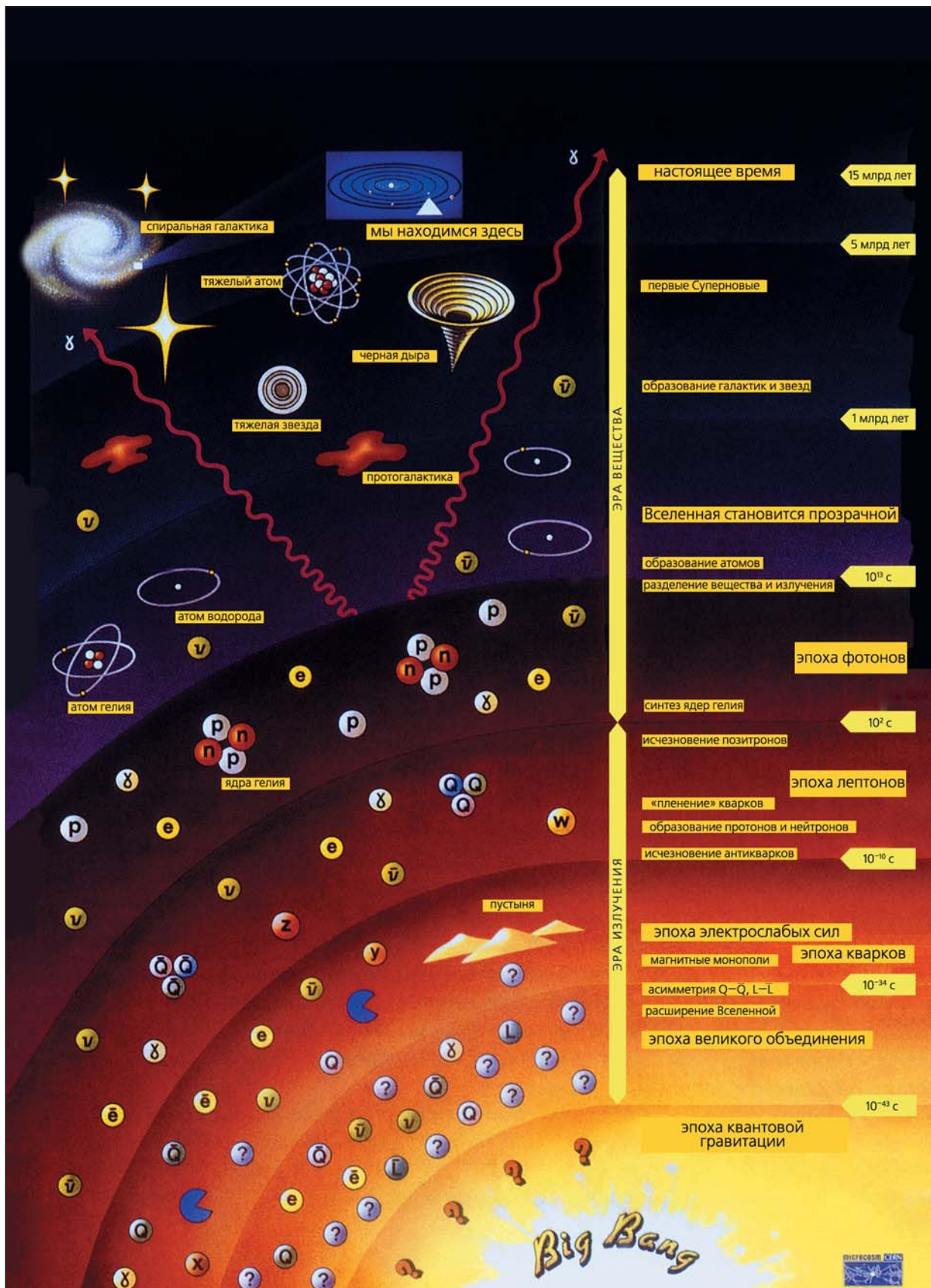
Общий вид территории ускорителя ЛНС (аэрофотосъемка). Красной линией отмечено расположение подземного кольца.

возрасте, когда Вселенная была «горячее», возможно, эти силы проявлялись одинаково.

Физики, занимающиеся частицами, надеются создать единую теоретическую основу, чтобы доказать это, и некоторые успехи здесь уже достигнуты. Две силы — электромагнитного и слабого взаимодействия — удалось объединить в единой теории, называемой «электрослабой», еще в 1970 г., чему не-

сколько лет спустя в ЦЕРНе было получено экспериментальное подтверждение. Две другие силы — гравитационное и сильное взаимодействия — остались вне этой теории, но затем была построена Стандартная модель, включившая в себя электрослабую теорию и теорию сильного взаимодействия.

Бесспорно, Стандартная модель — одно из выдающихся достижений человеческого ра-



История Вселенной.

зума XX века, но она оставляет пока многие проблемы нерешенными. Почему элементарные частицы имеют массу? Почему их массы различны? Так ли, что столь разные силы природы в действительности только проявление одной силы? По-видимому, во Вселенной не осталось больше антивещества — по какой причине?

Проблема происхождения массы — самая обескураживающая. Удивительно, что это всем хорошо известное понятие так мало изучено. Ответ, может быть, кроется в рамках Стандартной модели, в положении, которое называется механизмом Хиггса. Согласно ему, все пространство заполнено «хиггсовскими» полями. Частицы приобретают свои массы посредством взаимодействия с этими полями. Частицы, сильно взаимодействующие с хиггсовскими полями, — тяжелые, те же, которые взаимодействуют слабо, — легкие. Хиггсовское поле ассоциируется по крайней мере с одной новой частицей — хиггсовским бозоном. Если такая частица существует, LHC должен помочь ее обнаружить.

Самой популярной остается идея об объединении всех сил в единой теории, названной теорией суперсимметрии, или кратко SUSY. В этой теории предполагается, что для каждой известной частицы существует суперсимметричный партнер с альтернативным спином-статистикой. Если SUSY верна, суперсимметричные частицы должны быть найдены с помощью LHC.

Естественно предположить, что во время рождения Вселенной, в момент Большого взрыва, создалось одинаковое количество вещества и антивещества, однако сегодня мы живем во Вселенной, состоящей, судя по всему, целиком из вещества. Куда же девалось антивещество? Сначала думали, что антивещество представляет собой только совершенное отображение вещества — если заменить вещест-

во антивеществом и посмотреть на результат в зеркало, разницы не обнаружится. Однако теперь мы знаем, что отображение неадекватно, и это могло привести к дисбалансу вещества и антивещества. Ускоритель LHC станет прекрасным «зеркалом» для наблюдения антивещества, которое позволит нам подвергнуть Стандартную модель самому жесточайшему испытанию.

Итак, есть немало вопросов, ответы на которые могут быть найдены с помощью ускорителя LHC. Но история уже показала, что выдающиеся открытия в науке часто бывают непредсказуемы. Хотя у нас есть представление о том, что именно мы хотим найти с помощью Большого адронного коллайдера, Природа может преподнести нам очередной сюрприз. Так или иначе, он изменит наше миропонимание. Не менее важно, что реализация столь масштабного проекта окажет жизненно важное влияние и на развитие технологий будущего во многих областях — от материаловедения до информатики, поскольку требует исключительного совершенства создаваемого оборудования.

Анатомия коллайдера

Чтобы удержать пучок более энергетичных частиц на кольцевом треке ускорителя LHC, необходимы более сильные магнитные поля, чем те, которые использовались ранее в других ускорителях ЦЕРНа. Такие поля позволяют получить сверхпроводящие магниты, но никогда раньше не строилось «сверхпроводящее» устройство подобных масштабов. Новый ускоритель будет работать при температуре жидкого гелия — это холоднее, чем температура открытого космоса. Изыскания, проведенные совместно учеными и инженерами, показали, что сооружение такой установки реально, и в конце 1994 г. была успешно испытана целая опытная секция ускорителя.

Так как LHC будет ускорять два пучка, двигающихся в противоположных направлениях, то в действительности он будет представлять собой два ускорителя в одном. Чтобы ускоритель по возможности был компактным и экономичным, магниты также разместят в едином «два-в-одном» корпусе. Перед введе-



Полным ходом идет сборка и соединение основных магнитов ускорителя LHC в 27-километровом подземном туннеле.

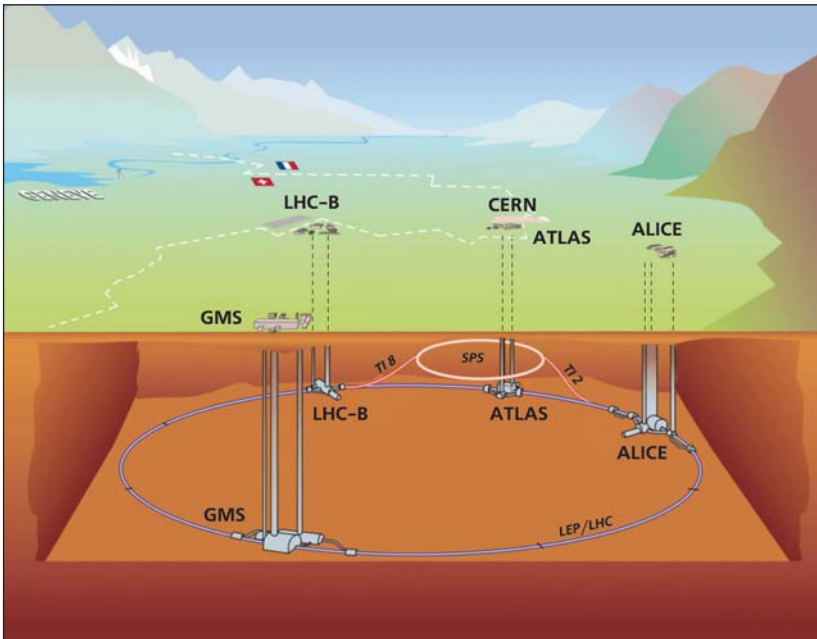
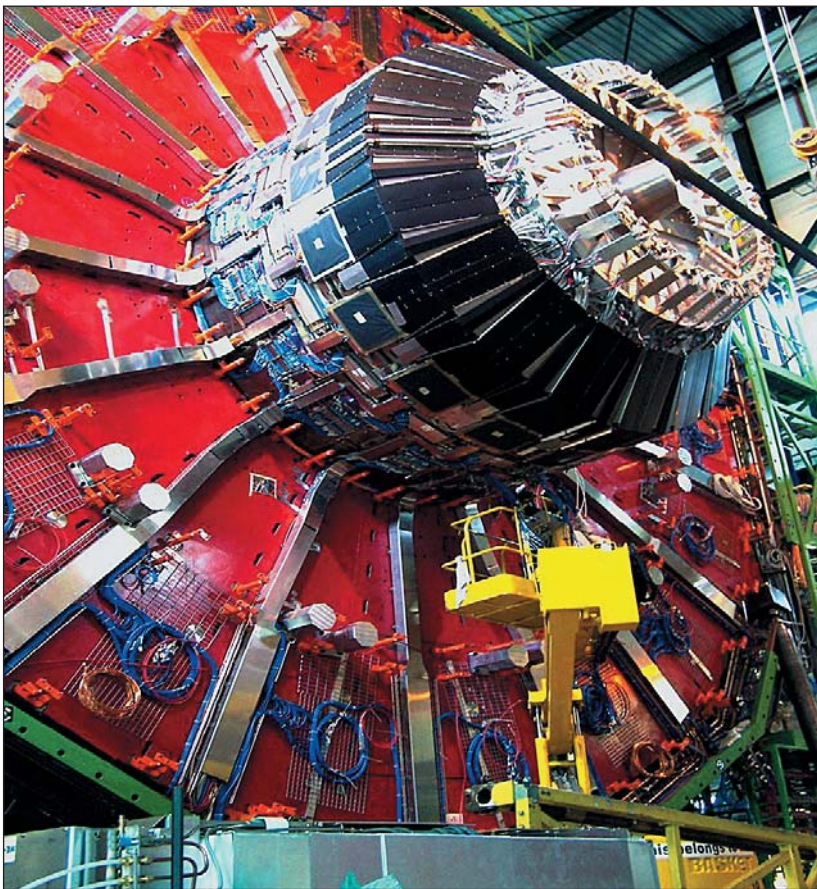


Схема расположения кольца LHC и его детекторов. Инжекция протонов будет осуществляться с выхода ускорителя SPS.



Собирается торцевой калориметр установки CMS.

нием протонных пучков в LHC их будут ускорять на уже существующих, последовательно соединенных ускорителях. Практика использования взаимосвязанных ускорителей сделала ЦЕРН самой многопрофильной фабрикой по получению пучков частиц в мире.

Обеспечивая самую высокую энергию из всех ускорителей в мире, LHC также будет иметь самые интенсивные пучки. Столкновения в ускорителе будут порождать тысячи частиц, и отслеживать их — сложнейшая задача. Чтобы разобраться в том, что происходит во время столкновений, в ЦЕРНе будут построены четыре огромных детектора — ATLAS, CMS, ALICE и LHCb. Первые две из этих установок, ATLAS и CMS — самые крупные и универсальные, предназначенные в основном для поиска хиггсовского бозона и суперсимметричных партнеров обычных частиц, но способные решить и ряд других проблем физики микромира. Главная цель, которую преследует эксперимент ALICE, — исследование процессов образования кварк-глюонной плазмы при столкновении тяжелых ионов, особого состояния вещества, которое существовало, как предполагают, только в первые мгновения зародившейся Вселенной. LHCb — это детектор для изучения причин нарушения четности (зеркальности) в мире элементарных частиц и, как следствие, в нашей Вселенной. Безусловно, физические задачи в программах исследований четырех экспериментов могут частью пересекаться, но решаться они будут разными методами, что оправдано с точки зрения достоверности получаемых знаний (опыт реализации программы LEP, где одновременно работало тоже четыре детектора, доказал это). Детекторные системы, дающие информацию о появлении частиц, различаются по принципу «реакции на частицу». Сцинтилляционные счетчики регистрируют

электромагнитное излучение, испускаемое при прохождении частицы через активную среду. При измерениях ионизационными датчиками о пролете частицы судят по степени ионизации газа в камере. Переходное излучение при движении частицы в газовой среде фиксируется датчиками переходного излучения. В полупроводниковых (кремниевых) детекторах о появлении частицы сигнализирует изменение проводимости. Наконец, калориметрический метод подразумевает измерение энергии всевозможных излучений, выделяющейся в среде (обычно металлической).

Высотой с многоэтажный дом, детекторы — «органы чувств» ЛНС — будут буквально напичканы электроникой. В центре каждого детектора будут происходить столкновения протонов с частотой около 800 млн раз в секунду, в результате которых рождаются новые частицы. События будут столь частыми, что одни частицы после взаимодействия еще будут проходить через детектор, а в это время уже произойдут следующие столкновения. Одно столкновение даст около 10 млн единиц информации, и каждый детектор ЛНС предоставит в 20 раз больше данных, нежели самый большой детектор, имевшийся до того в ЦЕРНе. Общий объем информации детекторов будет сопоставим с информационными потоками, циркулирующими сейчас во всей европейской телекоммуникационной системе.

Чтобы обработать такие потоки данных, требуется настоящий «супермозг» — передовые математическое обеспечение и электроника. Будут созданы распределенные по всему миру региональные компьютерные центры, в том числе и в России, связанные с центральным вычислительным центром ЦЕРНа высокоскоростной компьютерной сетью. Эта сеть будет отличаться от уже существующей всемирной паутины тем, что в ней

станут доступны не только поиск и обмен информацией, но и вычисления, использующие мощность всех составляющих, т.е. произойдет объединение отдельных компьютеров в единую вычислительную систему. Для проведения таких глобальных распределенных вычислений разрабатывается новейшая технология, получившая название GRID. Приятно отметить, что с российской стороны координирующую роль в этих разработках играют специалисты нашего института, о чем мы обязательно расскажем читателю в одном из ближайших номеров журнала.

Открываются иные горизонты и в других областях: новые технологии, которые требуются для реализации этого строительства, уже способствуют возникновению идей, обещающих огромные результаты в будущем.

С бору по сосенке

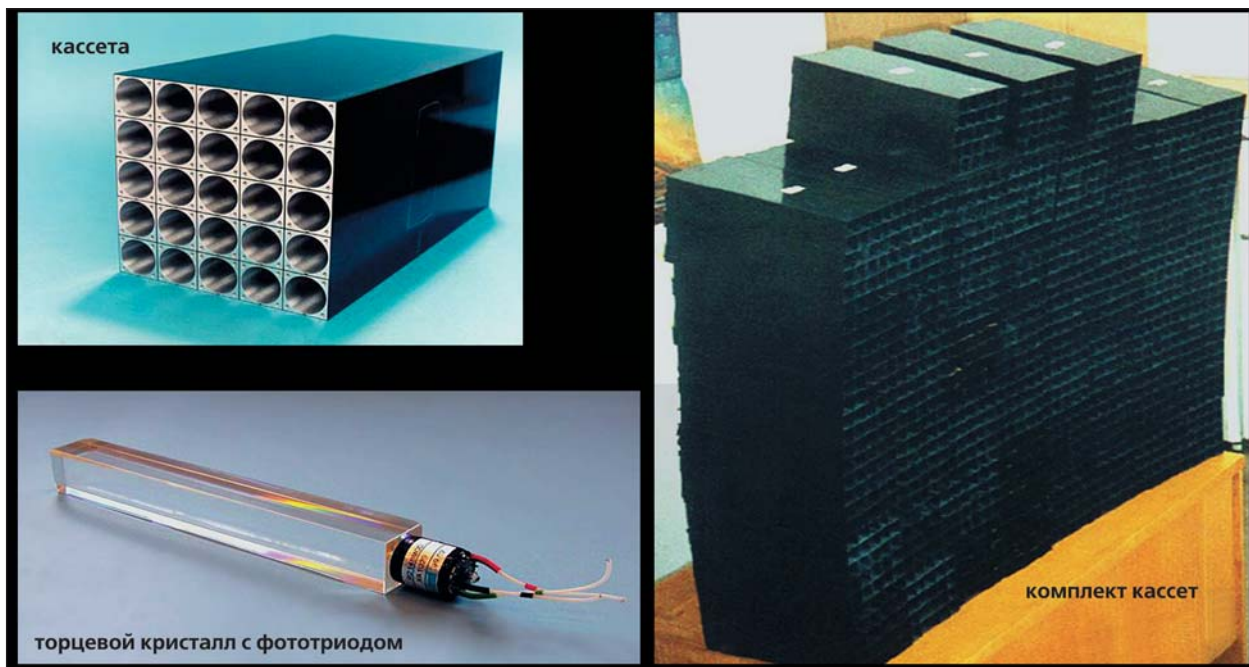
В создании ускорителя и четырех детекторных установок принимают участие физические институты и промышленные предприятия всех развитых в научно-техническом отноше-

нии стран, включая Россию. Около 20 российских научных организаций и около 30 промышленных предприятий, в том числе и оборонных, объединивших свои усилия, должны произвести высокотехнологического оборудования на общую сумму 200 млн швейцарских франков за счет средств бюджета России, ЦЕРНа и других зарубежных научных организаций и фондов. К настоящему времени российские институты и предприятия получили уже 10 наград, учрежденных ЦЕРНом, за высококачественное и своевременное выполнение работ для ЛНС.

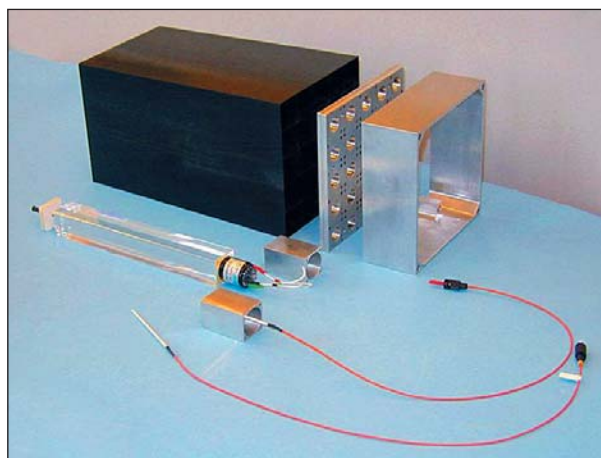
Благодаря участию в проекте ЛНС отечественные институты, занимающиеся физикой элементарных частиц, смогли модернизировать научно-производственную базу, привлечь талантливых студентов, аспирантов и молодых ученых к передовым научным исследованиям, получить международные гранты и в результате сохранить свой научный потенциал. Размещение соответствующих многомиллионных контрактов на территории России способствует развитию высоких технологий



Последние дипольные магниты, изготовленные в Новосибирске, доставлены в ЦЕРН.



ОКБ им.В.М.Мясищева (Москва) разработало и изготовило сверхлегкие и сверхпрочные кассеты из углепластика для компоновки монокристаллов торцевого калориметра установки CMS.



ЦНИИ «Электрон» (Санкт-Петербург) выпустил 15 тыс. вакуумных фототриодов для торцевой части калориметра.

и увеличению числа рабочих мест на промышленных предприятиях, открывает возможность выхода новых российских технологий на мировой рынок. В ряде случаев эти заказы позволили буквально спасти высокотехнологичные производства в России в сложное время конца 90-х годов. Вот лишь некоторые из самых ярких примеров разработки уникальных технологий.

Ускоритель нуждается в вакуумном оборудовании, способном поддерживать исключительно глубокий вакуум в канале инжекции, что существенно снижает потери при прохождении в нем небывало интенсивного пучка протонов. Такое оборудование — действительно уникальное по обеспечиваемой степени вакуума — было изготовлено Институтом ядерной физики

им.Г.И.Будкера (Новосибирск), где были также сделаны более 600 магнитов инжекционного канала и сверхпроводящие коммутационные шины.

Для детекторов необходимы активные среды, взаимодействующие с частицами. Технологию выращивания монокристаллов вольфрамата свинца, которые по своей прозрачности и радиационной стойкости превосхо-

дят все имеющиеся в мире образцы, разработали на Богородицком заводе теххимических изделий (Тульская обл.) в содружестве с ГНЦ «Институт физики высоких энергий» (Протвино). В 2000 г. там начато серийное производство 60 тыс. таких кристаллов — «начинки» для электромагнитного калориметра детектора CMS, а в 2001 г. на предприятии «Северные кристаллы» (Апатиты), по несколько другой технологии, адаптированной к ростовым установкам завода, — кристаллов для детектора ALICE.

Эти кристаллы (а их в калориметре многие тысячи) требуются как-то закрепить — для их укладки необходимы специальные кассеты. Кассеты должны обладать достаточной прочностью, чтобы выдержать вес сверхтяжелых кристаллов, но иметь очень тонкие стенки, чтобы минимизировать количество постороннего вещества внутри калориметра. Прецизионные кассеты из композиционных материалов с такими необычными механическими свойствами сконструировали специалисты Института ядерных исследований РАН (Москва) и ОКБ им.В.М.Мясищева (Жуковский).

Не меньше внимания требуют полупроводниковые компоненты детектора — ведь им придется работать в очень «тяжелых» условиях сверхсильных магнитных полей и интенсивного облучения частицами высокой энергии. По инициативе и в сотрудничестве с Объединенным институтом ядерных исследований (Дубна) в НИИ материаловедения (Зеленоград) разработана передовая технология изготовления кремниевых стриповых детекторов с высокой радиационной стойкостью, которая обеспечивается особой чистотой и бездефектностью кремниевых пластин и специальной технологией крепления датчиков. Ведется серийное производство двух тысяч детекторов общей площадью около

7 м². А ЦНИИ «Электрон» (Санкт-Петербург) по заказу и при участии Петербургского института ядерной физики РАН (Гатчина) впервые создал вакуумные радиационностойкие и нечувствительные к магнитному полю фототриоды.

Нужны еще массивные монолитные блоки из стальных пластин — для сооружения поглотителя частиц, рождающихся после столкновения пучков протонов и летящих практически вдоль этих пучков, и, наоборот, сверхлегкие, но прочные опорные конструкции для крепления детекторов (соответствующие технологии были разработаны совместными усилиями специалистов из Москвы, Санкт-Петербурга, Перми и Снежинска), и многое, многое другое.

Что касается нашего института, он сотрудничает с ЦЕРНом в рамках проекта LHC с начала 90-х годов и сейчас участвует в подготовке двух экспериментов — ATLAS и CMS.

«Сделано в НИИЯФ»

В эксперименте ATLAS планируется использовать детекторы двух типов: полупроводниковые кремниевые детекторы и микростриповые газовые камеры, результаты работы которых должны дополнять друг друга. Расчет сделан на то, что более высокая точность координатных измерений на кремниевых детекторах будет компенсироваться меньшей плотностью рабочего вещества и относительной дешевизной газовых камер.

В рамках разработки газовых детекторных систем в НИИЯФ МГУ исследуется радиационная стойкость конструкционных материалов газовых трубок. Основная проблема заключалась в необходимости очистки газа, циркулирующего в системе, от продуктов, которые образуются в результате воздействия высоких доз радиационного излучения, и ее удалось ре-

шить. Чтобы следить за радиационной обстановкой в зоне калориметра, создана специальная система мониторинга, исследована работа калориметра в условиях интенсивного облучения (радиационное повреждение детекторов, коррозия, люминесценция и т.п.) и разработаны методы калибровки переднего калориметра.

На всех ускорителях работают системы отбора событий (триггеры), которые отсекают часть событий, оставляя самые интересные, чтобы облегчить обработку информации. В установке ATLAS будет работать трехуровневый триггер [2], позволяющий понизить частоту регистрируемых событий с 1 ГГц до 200 Гц, что уже приемлемо для записи событий. За последние годы группой нашего института разработаны и внедрены в общую систему программного обеспечения триггера несколько алгоритмов реконструкции и отбора событий во внутреннем детекторе. Алгоритмы работают с учетом жестких ограничений на время выполнения, эффективность отбора сигнальных событий и подавление фоновых. В 2004 г. созданные программы были успешно протестированы в реальных условиях на полномасштабном макете части установки.

На установке ATLAS предполагается регистрировать редкие лептонные, радиационные распады В-мезонов, недоступные прежним ускорителям. Это помогло бы точно проверить предсказания Стандартной модели в высших порядках теории возмущений, а также провести поиск новых физических эффектов вне Стандартной модели. Группа НИИЯФ МГУ анализирует возможности детектора ATLAS для решения данных задач.

Для детектора CMS в институте разрабатывается программа исследований взаимодействия тяжелых ионов с целью обнаружения и изучения свойств сверхплотного состоя-



В экспериментальном зале установки ATLAS монтируется центральный калориметр.

ния ядерной материи — кварк-глюонной плазмы. Были разработаны модели Монте-Карло, описывающие новые эффекты в соударениях тяжелых ионов при энергии LHC («гашение» струй, потоковые эффекты) и применяемые в настоящее время как коллаборацией CMS, так и другими коллаборациями (например, ALICE). Анализ на их основе ряда физических каналов (включающих струи, лидирующие частицы, кварконию, димюоны больших инвариантных масс, анизотропные потоки энергии и др.) показал, что детектор CMS должен быть чувствителен к кварк-глюонной плазме в данных каналах. Предложены алгоритмы реконструкции физических объектов

(струй, фотонов, кварконию и др.) и глобальных характеристик события (параметра удара, угла плоскости реакции) с высокой множественностью [3].

С 1989 г. в институте развивается первый в мире пакет программ ComPHEP для автоматизированных вычислений характеристик процессов столкновений и распадов элементарных частиц на ускорителях и коллайдерах. В современном виде ComPHEP позволяет привести всю цепочку необходимых расчетов для исследуемого процесса столкновения двух конкретных частиц с заданной энергией и с определенным набором частиц в конечном состоянии [4, 5]. В результате работы программы мы получим зна-

чение сечения процесса и распределения конечных частиц по энергиям и углам в виде таблиц и графиков. Благодаря созданным интерфейсам полученные распределения можно обработать программным обеспечением конкретных детекторов, что позволяет заранее моделировать отклики этих детекторов, если в них произойдут подобные события в реальных экспериментах.

С использованием уникальных возможностей ComPHEP, которые и создавались под нужды реальных вычислений, коллаборацией ComPHEP в сотрудничестве с учеными многих научных и учебных центров мира был проведен ряд пионерских исследований в области физики на современных коллайдерах. В частности, расчет процессов рождения одиночного t -кварка и созданный на основе системы ComPHEP специальный генератор событий «SingleTop» легли в основу подготовки экспериментального поиска t -кварка в коллаборации CMS на коллайдере LHC.

* * *

Участие в проекте LHC даст возможность поднять научный потенциал России, а сам проект выведет процесс интернационализации фундаментальной науки и связанный с ним прогресс в развитии передовых технологий на новый уровень. Но это лишь одна сторона дела. Широкое научное сотрудничество мирной направленности исключительно важно и в деле сближения и взаимопонимания людей и народов. Проект LHC просто обязан быть успешным! ■

Литература

1. Саврин В.И., Сарычева Л.И., Смирнова Л.Н. // Вестник МАН ВШ. 2000. №1 (12). С.98—112.
2. Capeans M., Grishkevitch Ya.V., Kramarenko V.A. et al. // Science. 2004. V.51. P.960—967.
3. Lokhtin I.P., Sarycheva L.I., Snigirev A.M. // European Physical Journal C: Particle and Fields. 2004. V.36. P.375—379.
4. Boos E., Bunichev V., Dubinin M. et al. (ComPHEP Collaboration) // Nuclear Instruments and Methods. 2004. A534. P.250—259.
5. <http://theory.sinp.msu.ru/compheap>

Посланники космоса: дальнего или ближнего?



Космические лучи ультравысокой энергии

Б.А.Хренов, М.И.Панасюк

Феноменология космических лучей — тема, знакомая читателям журнала «Природа» [1]. Здесь мы уделим основное внимание космическим лучам ультравысокой энергии — современному состоянию их изучения и планам на будущее. Напомним только, что Вселенная заполнена как электромагнитным излучением, так и быстрыми частицами (их принято называть космическими лучами из-за дуальной природы частиц и волн), спектр которых представлен на рис.1. Большую часть энергии космических излучений несут реликтовые фотоны — излучение, сохранившееся после Большого взрыва, с длиной волны 0.5 см (максимум спектра на рис.1). Первоначально материя находилась в самом «элементарном» состоянии, и лишь при последующем остывании она перешла в более «сложные» формы, когда силы взаимодействия разделились на виды, известные нам из экспериментов по взаимодействию частиц. Исследования баланса скоростей и температуры отдельных частей Вселенной, проведенные в последние годы, показали, что основная материя и ее энергия все еще скрыты от наших наблюдений (темная материя, темная энергия). Это не мешает нам искать экспериментальные указания о природе



Борис Аркадьевич Хренов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела частиц сверхвысоких энергий НИИЯФ МГУ. Работает в области физики космических лучей. Научный руководитель космического эксперимента ТУС. Заслуженный научный сотрудник МГУ.



Михаил Игоревич Панасюк, доктор физико-математических наук, профессор, директор НИИЯФ МГУ, заведующий кафедрой космических лучей и физики космоса физического факультета МГУ. Область научных интересов — физика космических лучей и магнитосферы Земли.

Большого взрыва по доступным астрофизическим данным (макромир) и по данным об элементарных частицах (микромир).

От оценок к измерениям

Как следует из рис.1, космические лучи могут иметь длину волны менее размера нуклона (10^{-15} см, энергия протонов более 10^{10} эВ). Первое указание на

присутствие частиц столь высокой энергии в космических лучах получил в 1927 г. Д.В.Скобельцын*, наблюдая ливни вторичных частиц в камере Вильсона. По характеристикам взаимодействия частиц высокой энергии с ядрами вещества стало возможно изучение микромира нуклона. С помощью кос-

* Именно он создал в СССР школу изучения космических лучей, достижения которой в значительной степени принадлежат НИИЯФ МГУ.

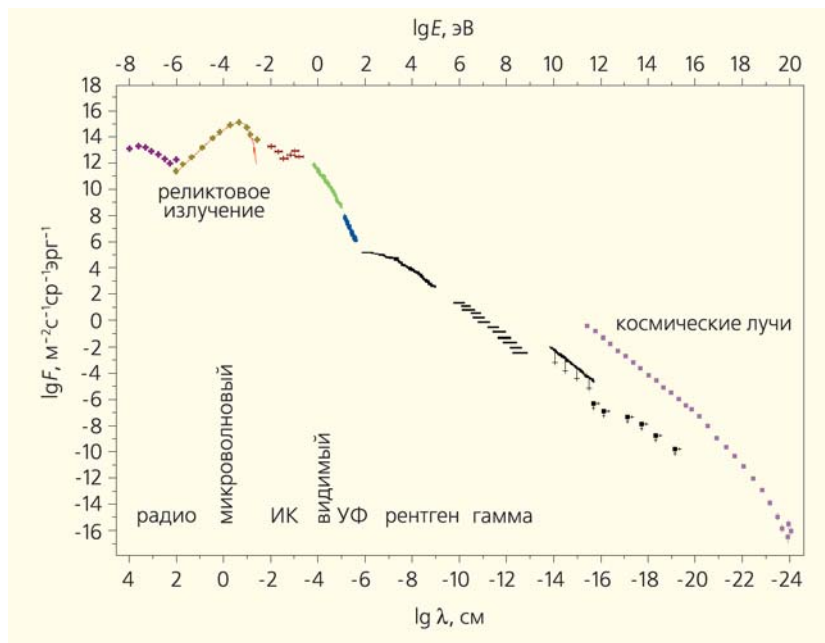


Рис. 1. Спектр электромагнитного космического излучения и космических лучей. F — поток квантов или частиц, E — энергия кванта или частицы, λ — длина волны.

мических лучей удалось открыть нестабильные «элементарные» частицы мюоны и пионы, которые оказались лишь первыми в ряду частиц из микромира нуклона. В дальнейшем эксперименты с частицами, ускоренными в лаборатории, дали гораздо более подробные сведения: были открыты кварки и глюоны — «кирпичики», из которых составлены элементарные частицы.

Однако и на лучших современных ускорителях все еще недостижимы энергии, наблюдаемые у самых высокоэнергетичных частиц космических лучей. К сожалению, использовать космические частицы для дальнейшего изучения «наномира» элементарных частиц не так-то просто. Во-первых, поток космических лучей столь высокой энергии исключительно мал (регистрируется в среднем 1 частица с энергией выше 10^{19} эВ на площади детектора 1 км^2 за год работы), во-вторых, детектор подобных размеров не позволяет фиксировать те парамет-

ры взаимодействия, по которым можно судить о структуре частиц. И все-таки частицы космических лучей ультравысоких энергий дают фундаментальные сведения о наномире частиц даже одним своим появлением: изучая их энергетический спектр, направление, откуда они приходят, и, по возможности, состав первичных частиц (сколько среди них ядер, нуклонов, γ -квантов, нейтрино), мы можем получить информацию о состоянии Вселенной на стадии самых высоких температур, когда вещество было более «элементарным», чем сегодня. Полная энергия потока таких частиц очень мала (на много порядков меньше, чем энергия реликтовых фотонов), но в то же время Природа дает нам шанс по следу столь редких, но приобретающих колоссальную «индивидуальную» энергию частиц изучать специальные, возможно самые энергичные космические объекты.

Воспользоваться этим шансом стало реальным после

1938 г., когда П.Оже и Р.Маз с помощью детекторов, раздвинутых на расстояние до 100 м, зарегистрировали ливни частиц уже не в лаборатории, а непосредственно в атмосфере. Оценка энергии первичной частицы, которая могла бы создать такие ливни за счет каскада взаимодействий с ядрами атомов, дала величину $\sim 10^{15}$ эВ. Сигнал от подобной первичной частицы появляется в пятне с диаметром в сотни и более метров, благодаря чему удается регистрировать космические лучи высокой энергии по ливням из вторичных частиц в атмосфере (их в дальнейшем стали называть широкими атмосферными ливнями — ШАЛ) на больших площадях. Измерения в СССР (1949) частоты сигналов от детекторов, раздвинутых до 1 км, дали первые оценки интенсивности космических лучей с энергией выше 10^{18} эВ. Развитие метода ШАЛ позволило провести измерения космических лучей в широком диапазоне энергий от 10^{14} до 10^{19} эВ. На рис.2 данный спектр представлен так, как он был суммирован М.Нагано и А.Ватсоном в 2001 г. [2]; его главная особенность — изменение при энергии $3 \cdot 10^{15}$ эВ степенного закона, который хорошо аппроксимирует данные на отдельных участках спектра. Этот излом спектра был открыт Г.Б.Христиансенем и Г.В.Куликовым еще в 1958 г. [3], но потребовались годы, чтобы доказать [4] достоверность результата. Необходимые доказательства были получены на установке НИИЯФ МГУ для изучения ШАЛ, расположенной на территории университета (с сцинтилляционными датчиками и газоразрядными трубками в качестве детекторов частиц ШАЛ; доступная для регистрации энергия первичных частиц лежала в интервале $10^{15} - 3 \cdot 10^{17}$ эВ). Дело в том, что для измерений методом ШАЛ необходимо откалибровать меру энергии первичной частицы. На установке, где детекторы

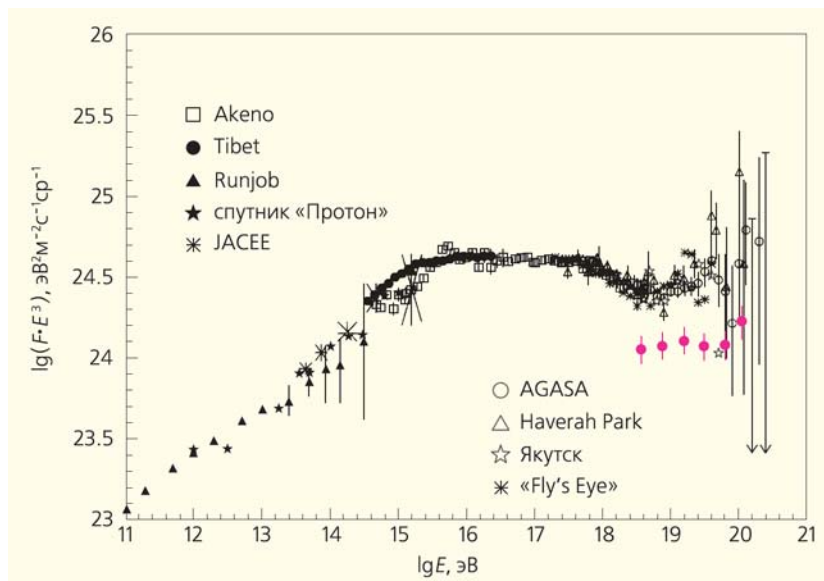


Рис.2. Энергетический спектр космических лучей по данным разных установок. Результаты в области энергий $E > 10^{15}$ эВ получены методом изучения ШАЛ (обзор [2]). Данные «Обсерватории Пьер Оже» 2005 г. (цветные кружки) заставляют усомниться в достоверности калибровки предыдущих измерений по энергии первичной частицы.

частиц расположены на площади 0.5 км^2 с шагом на местности* $50\text{--}200 \text{ м}$, такой мерой было число заряженных частиц в ливне (в основном электронов), и связь между первичной энергией и числом частиц ШАЛ устанавливалась расчетным путем — моделировался процесс развития ШАЛ. Искомая связь, естественно, зависит от принятой модели взаимодействия нуклонов и ядер, порождающего вторичные адроны (частицы, способные к сильным взаимодействиям), и на первых порах она содержала неопределенность, так как не было экспериментальных данных об адронных взаимодействиях при энергиях ШАЛ. В 70–80-е годы такие данные появились, и модель взаимодействия адронов была проверена в ускорительных экспериментах (модель кварк-глюонных струн). Развитие ШАЛ на основе этой модели было детально рас-

* Расстояние между детекторами выбирается немного меньше радиуса ливня, чтобы был зарегистрирован основной поток частиц.

считано в работах Н.Н.Калмыкова. Кроме того, интенсивность частиц космических лучей при энергии $10^{14}\text{--}10^{15}$ эВ была измерена непосредственно вне атмосферы с помощью ионизационного калориметра, созданного в НИИЯФ под руководством Н.Л.Григорова и запущенного на орбиту спутника Земли ракетой «Протон» в 1966 г. Данные прибора подтвердили оценки энергии, полученные в современных расчетах ШАЛ, и теперь можно уверенно утверждать, что излом спектра при энергии $3 \cdot 10^{15}$ эВ зарегистрирован с высокой точностью.

На вершине энергий

Для измерения спектра ШАЛ со значительно большими энергиями, которые встречаются, как было сказано выше, исключительно редко, необходимо строить установки с рабочей площадью в десятки и сотни квадратных километров. Строительство установок с большим

числом детекторов на расстоянии порядка 100 м друг от друга встречает значительные технические и финансовые трудности. Реально увеличение рабочей площади достигается двумя способами: или детекторы раздвигаются (тогда можно сократить число детекторов на площади установки), или переходят к другому принципу регистрации — измерению не потока частиц, а флуоресценции в атмосфере, вызываемой основным потоком электронов ШАЛ. Во втором случае можно одним детектором «видеть» ливни с расстояний до десятков километров.

Первый вариант реализован на установках в Якутске площадью 17 км^2 и AGASA в Японии (рис.3) площадью около 100 км^2 . С помощью сети детекторов, расстояние между которыми 1 км , в каждом ливне регистрируется плотность потока частиц в нескольких детекторах (рис.4) и по уровню сигнала на заданном расстоянии от оси ливня (600 м в обоих рассматриваемых установках) делается оценка энергии первичной частицы. Величина 600 м выбрана не случайно: в ряде расчетов показано, что плотность потока частиц ρ_{600} на этом расстоянии примерно пропорциональна энергии первичной частицы. Для установления связи между абсолютным значением этой энергии и измеряемым параметром ρ_{600} по-прежнему моделируется процесс развития ШАЛ, причем учитывается не только продольное развитие ливня (достаточное при сравнении результатов расчета и измерения числа частиц), но и поперечное рассеяние частиц ливня, в процессе которого частицы «выбрасываются» на расстояния порядка километра. Необходимость учета еще одного фактора — поперечного рассеяния частиц — приводит к тому, что новая мера энергии (плотность потока частиц на заданном расстоянии) становится менее достоверной. Сравнение первичной энергии,

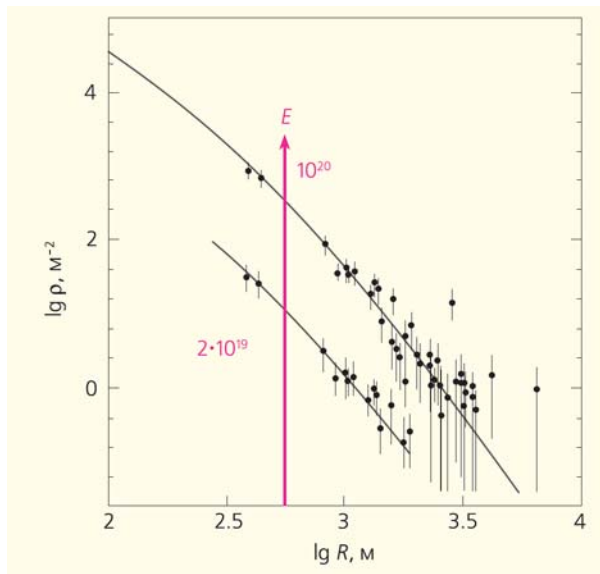
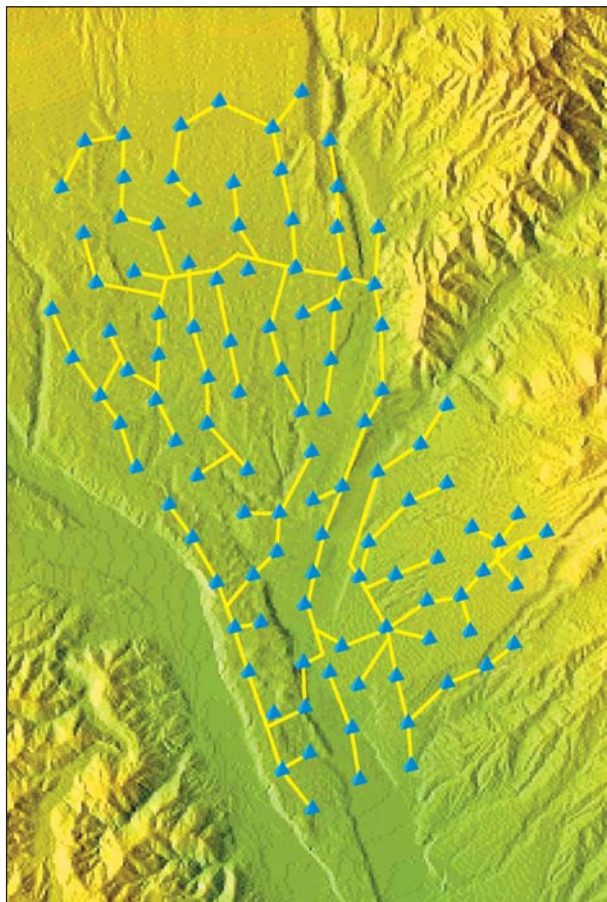


Рис.4. Иллюстрация метода измерения первичной энергии. Экспериментально измеряется уровень плотности потока частиц на расстоянии 600 м от оси ШАЛ, который пропорционален первичной энергии.

Рис.3. Карта расположения детекторов установки AGASA на площади 100 км². Треугольниками показаны детекторы, обслуживаемые центрами регистрации; линии – оптические кабели, связывающие центры регистрации с детекторами.

измеренной на установках с разной дистанцией между детекторами — типа НИИЯФ МГУ и типа AGASA, — часто демонстрирует расхождение в абсолютных значениях энергии. Согласие между различными результатами, представленными на рис.2, было достигнуто путем поправок в измерение энергии, введенных авторами обзора [2].

Второй способ регистрации космических лучей ультравысоких энергий — измерение флуоресценции атмосферы — позволяет определить энергию частицы калориметрическим методом. На рис.5 в качестве примера показан уникальный ливень с энергией $3 \cdot 10^{20}$ эВ, зафиксированный американской установкой «Fly's Eye» (штат Юта). В реальных условиях работы флуоресцентного детектора, наблюдающего самые энергичные ливни на расстояниях 20–30 км от детектора, необходимо учиты-

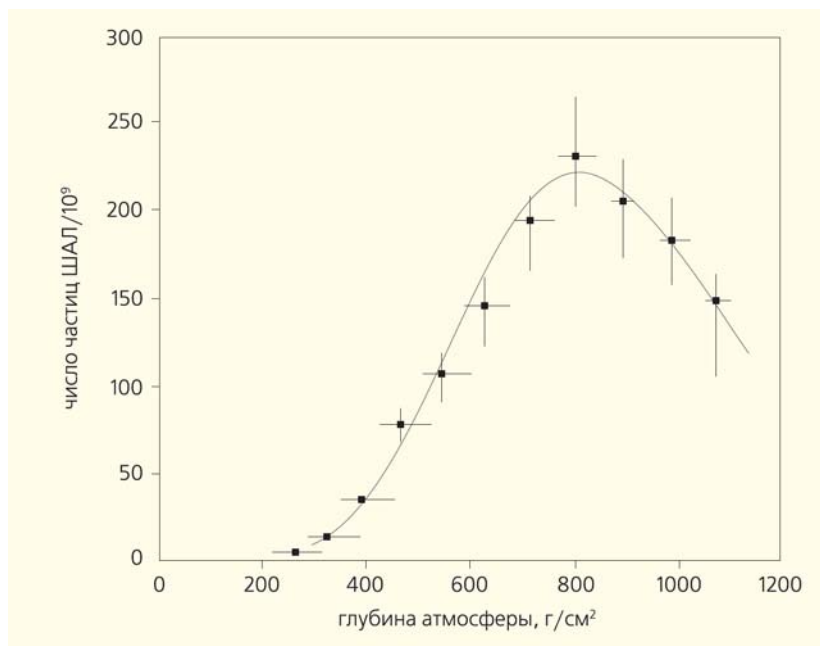


Рис.5. Пример регистрации ШАЛ рекордно высокой энергии $3 \cdot 10^{20}$ эВ детектором «Fly's Eye». Точки — показания ячеек детектора, которые соответствуют числу частиц ШАЛ (ось ординат) на различной глубине в атмосфере (ось абсцисс).

вать поправки, связанные с поглощением сигнала в атмосфере. На таких расстояниях (в горизонтальном направлении наблюдения) до детектора доходит лишь 10–20% сигнала, и надо точно знать коэффициент поглощения света флуоресценции в момент регистрации ШАЛ. Еще одна проблема — найти расстояние до оси ШАЛ. Достаточно точно это можно сделать лишь с помощью стереопары детекторов. К сожалению, площадь измерения ШАЛ парой детекторов значительно меньше, чем у одного детектора (поскольку их поля зрения должны перекрываться), а создание большого числа пар детекторов оказывается слишком дорогим.

В 2003 г. были подведены итоги измерений с помощью двух самых больших по геометрическому фактору установок: AGASA и флуоресцентного детектора HiRes (модернизированного детектора «Fly's Eye»), рис.6. Видно, что результаты принципиально расходятся: данные AGASA свидетельствуют о существовании частиц выше энергии $5 \cdot 10^{19}$ эВ (предел Грейзена—Зацепина—Кузьмина, о котором речь пойдет далее), а данные HiRes указывают на обрыв спектра при этом энергетическом пределе. Данные AGASA были накоплены в течение 11 лет, и по мере регистрации все большего числа ливней с энергией выше $5 \cdot 10^{19}$ эВ разгоралась дискуссия о возможной интерпретации «запредельных» событий.

Результаты AGASA и HiRes расходятся по абсолютной интенсивности событий и при меньших энергиях (10^{18} – 10^{19} эВ). Данные Якутской установки в этом диапазоне энергий близки по интенсивности к данным AGASA и еще больше отличаются от данных HiRes. Естественно искать причину разницы в интенсивности частиц в различии калибровки событий по энергии.

Более точно откалибровать энергетическую шкалу в обла-

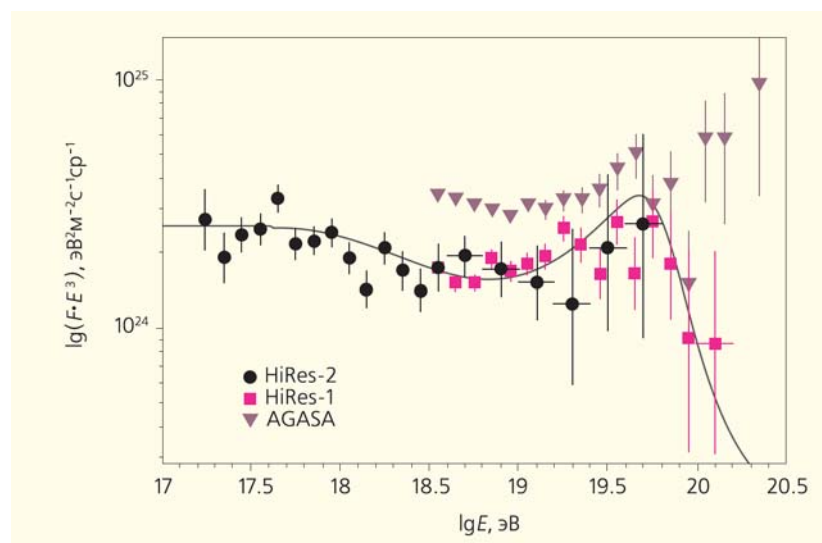


Рис.6. Драматическая разница в данных флуоресцентного детектора HiRes и установки AGASA, 2003 г. Сплошная кривая — ожидаемый спектр с обрывом при энергетическом пределе ГЗК.

ти $>10^{19}$ эВ позволяет новая установка для изучения космических лучей ультравысоких энергий, создаваемая в Аргентине международной коллаборацией «Обсерватория Пьер Оже» [5]. Она будет содержать 1600 детекторов частиц ШАЛ на площади около 3000 км^2 , пространство над сетью детекторов будет просматриваться четырьмя флуоресцентными детекторами с обзором по азимуту около 180° и по высоте над горизонтом до 30° . Сочетание методов обоих типов на одной площади регистрации даст возможность не только провести относительную калибровку двух методов, но и повысить достоверность данных флуоресцентных детекторов, так как сеть детекторов частиц, фиксируя положение до оси ливня даже для одного детектора флуоресценции.

Первые предварительные результаты измерения энергетического спектра космических лучей, проведенные лишь на части строящейся установки «Обсерватория Пьер Оже» (2005 г.), показаны на рис.2 и 7. Эти данные, использующие новую, более точную калибровку

первичной энергии, значительно ниже по интенсивности, чем данные установок AGASA и Якутской, и ставят вопрос о достоверности калибровки в предыдущих измерениях. При меньших энергиях абсолютные значения энергии можно определять методом «атмосферного калориметра» — путем регистрации черенковского света ШАЛ. Оптимальным образом этот метод реализован на установке «Тунка» (НИИЯФ МГУ в кооперации с Иркутским государственным университетом), которая состоит из сети детекторов черенковского света, расположенной на большой площади, и способна измерять спектр космических лучей в диапазоне энергий 10^{15} – 10^{17} эВ, рис. 7. В области излома спектра при энергиях $3 \cdot 10^{15}$ эВ результаты установки «Тунка» согласуются по абсолютной интенсивности с данными ионизационного калориметра (спутник «Протон») и установки ШАЛ НИИЯФ МГУ. Из сравнения всех результатов, представленных на рис.7, видно, что помимо упомянутого излома происходит еще один — при энергиях $\sim 10^{18}$ эВ. И теперь пора обратиться к самому инт-

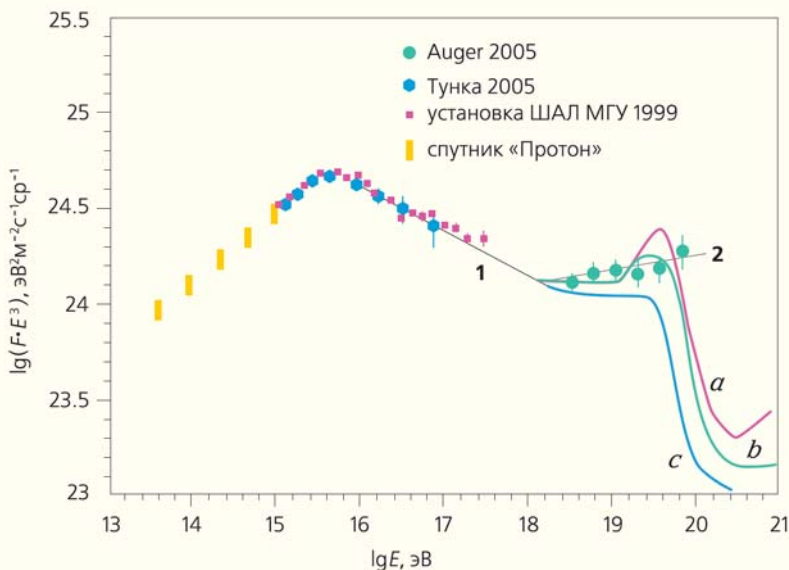


Рис.7. Энергетический спектр космических лучей по данным установок, использующих калориметрический метод измерения энергии. Виден первый излом спектра при $3 \cdot 10^{15}$ эВ и получено явное указание на второй излом (до энергии 10^{18} эВ показатель дифференциального спектра 3.2 (линия 1), при энергиях $>10^{18}$ эВ — показатель 2.8 (линия 2). При энергии $5 \cdot 10^{19}$ эВ (предел ГЗК) ожидается обрыв спектра. Чувствительность спектра как к виду спектра в источнике, так и к распределению источников во Вселенной иллюстрируется кривыми a, b, c [9]: a и b — источники равномерно распределены по Вселенной, но спектр источников $E^{-2.35}$ (a) и $\sim E^{-2.75}$ (b); c — источники распределены подобно формирующимся звездам, и спектр источников $\sim E^{-2.75}$.

ригующему вопросу: откуда к нам приходят самые высокоэнергетичные частицы?

Обращаясь к источникам

В интерпретации авторов открытия первого излома спектра второй излом ожидается и может свидетельствовать о регистрации частиц, приходящих от источников в нашей Галактике. При энергии протонов $\sim 10^{18}$ эВ диффузия протонов в галактическом пространстве практически отсутствует, поэтому следует ожидать анизотропии в направлении прихода частиц с такой энергией — они должны прилетать преимущественно по направлению от галактической

плоскости (или от ее центра). Однако экспериментально анизотропия частиц с энергией более 10^{18} эВ пока не установлена. Хотя некоторые указания на преимущественный приход частиц из галактического центра есть (данные AGASA), они не подтверждаются последними измерениями на установках HiRes и «Обсерватория Пьер Оже». Поэтому сейчас частицам космических лучей ультравысокой энергии (за вторым изломом спектра) приписывают межгалактическое происхождение.

Но если эти частицы генерируются далеко от Галактики и, в первом приближении, равномерно в пространстве Вселенной, особого внимания заслуживают условия, при которых такие «космологические» части-

цы смогут пройти межгалактическое пространство, заполненное излучением (рис.1). Море фотонов Большого взрыва оказывается «непроходимым» для протонов и ядер с энергией выше энергетического порога взаимодействия фотон—протон, фотон—ядро. Первые оценки эффекта взаимодействия ультраэнергетичных частиц с реликтовыми фотонами были сделаны в работах К.Грейзена [6] и Г.Т.Зацепина и В.А.Кузьмина [7]. Было показано, что начиная с энергии протонов $5 \cdot 10^{19}$ эВ «космологические» частицы начинают поглощаться на пути от источника к Земле, и спектр космических лучей должен испытывать «обрыв». Предел по энергии для спектра космических лучей, источники которых равномерно распространены во Вселенной, получил название предела ГЗК.

Если источники достаточно близко к земному наблюдателю — на расстоянии не более 50 Мпк, — то предела ГЗК нет. Отсюда очевиден путь экспериментального исследования происхождения ультраэнергетичных частиц: необходимо изучить их энергетический спектр вплоть до энергий, превышающих $5 \cdot 10^{19}$ эВ, и установить, есть ли предел ГЗК, параллельно измеряя направления прихода первичных частиц. В случае регистрации событий за пределом ГЗК их источники следует искать на расстоянии не более 50 Мпк в направлении, откуда прилетела зарегистрированная частица (известно, что магнитные поля в Галактике и на расстояниях менее 50 Мпк от нее отклоняют протоны с энергией выше $5 \cdot 10^{19}$ эВ не более, чем на 4° ; тяжелые ядра отклоняются сильнее, но сохраняют общее направление на источник).

Данные установки AGASA позволили провести такой анализ. Оказалось, что предел ГЗК не наблюдается, но в то же время нет единого источника «запределельных» частиц. Отслежи-

вание прихода частиц с энергией выше $4 \cdot 10^{19}$ эВ из одной области на небе с размером $5 \times 5^\circ$ выявило одну точку на небе, из которой за 10 лет работы установки пришло три частицы, и шесть точек, из которых пришло по две частицы. Вероятность случайной группировки частиц в таком угловом размере мала, но вместе с тем и не исключена, что не позволяет сделать окончательный вывод о наблюдении источников.

Были также сопоставлены направления прихода ультраэнергетических частиц, зарегистрированных на установке AGASA, с направлениями на известные источники на небе выбранного типа, потенциально способные ускорить частицы до подобных энергий. Таких астрофизических объектов на расстояниях менее 50 Мпк немного — пульсары, ядра активных галактик, радиогалактики, источники гамма-всплесков. На рис.8 приведен пример такого объекта — радиогалактика NGC 315. Все они должны удовлетворять по крайней мере одному условию — магнитное поле в области источника должно быть велико, чтобы достаточно долго удерживать ускоряемую частицу в пределах размеров источника. К сожалению, статистика событий с энергией $>5 \cdot 10^{19}$ эВ неве-

лика, а вероятность отклонения частиц от направления на источник для частиц с энергией $<5 \cdot 10^{19}$ эВ заметна, поэтому сделать вывод о надежном выделении какого-то типа источника пока нельзя. Вместе с тем проведенный анализ позволил обработать метод поиска источников в будущих экспериментах.

Предсказание об обрыве спектра космических лучей было уточнено, когда более детально была рассмотрена эволюция Вселенной [8, 9]. Результаты подобного расчета зависят как от предполагаемого вида спектра в источниках, так и от распределения источников во Вселенной (распределения по красному смещению). Один из последних результатов расчета ожидаемого спектра в районе предела ГЗК показан на рис.7: перед обрывом спектра интенсивность должна повыситься, но излом спектра всегда находится при значении предела ГЗК. Последнее обстоятельство позволяет надеяться, что в будущих экспериментах статистически надежное выделение обрыва спектра (если он существует) будет свидетельствовать о правильно выбранной мере энергии в эксперименте. Детальное исследование спектра в районе предела ГЗК даст информацию об эволюции

Вселенной и о распределении источников по красному смещению.

Отсутствие по данным установки AGASA корреляции направления прихода частиц с потенциальными кандидатами — астрофизическими ускорителями — дало пищу альтернативным объяснениям появления частиц за пределом ГЗК. Так, «запредельные» частицы могут быть продуктом распада сверхмассивных частиц (с массой 10^{24} эВ), которые представляли материю Вселенной в самом начале Большого взрыва (время меньше 10^{-35} с), но могли и сохраниться на современной стадии существования Вселенной (такие модели предложены). Предполагается, что сверхмассивные частицы, распадаясь, производят все известные элементарные частицы, в том числе и нуклоны, но наиболее представленными стабильными частицами оказываются фотоны и нейтрино. Если расстояние до первичной массивной частицы $\gg 50$ Мпк, среди наблюдаемых «запредельных» частиц должны преобладать нейтрино, так как нуклоны и фотоны распада не будут доходить до Земли.

Но, может быть, сверхмассивные частицы встречаются и на расстояниях <50 Мпк. В модели В.А.Рубакова и В.А.Кузьмина, например, они являются темной материей Вселенной и поэтому сосредоточены вблизи всех массивных объектов, в том числе входят в состав Галактики. Тогда эффекты поглощения протонов и других частиц не играют роли. Согласно этой модели, по составу частиц в области энергий $>5 \cdot 10^{19}$ эВ в будущих экспериментах можно изучать сверхмассивные частицы темной материи и решить одну из фундаментальных проблем современной физики.

Итак, исследования ультраэнергетических частиц подвели нас к самым актуальным проблемам физики, но решить их можно, лишь совершенствуя постановку эксперимента.

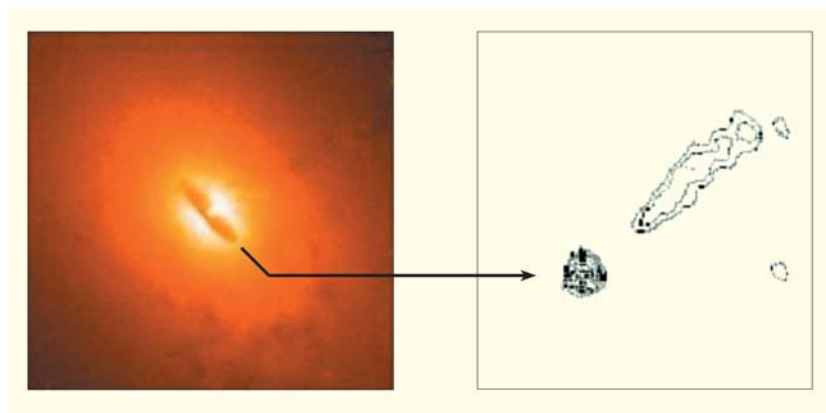


Рис.8. Радиогалактика NGC 315 — потенциальный источник частиц с энергией до 10^{20} эВ, содержащая быструю струю газа (данные радиотелескопа, справа). Слева показана основная часть галактики (фото телескопа «Хаббл»).

Воспоминания о будущем

В ближайшие годы вступит в строй в полном объеме самая большая наземная установка для изучения космических лучей — «Обсерватория Пьер Оже». Как было сказано выше, такая «гибридная» установка позволит физически правильно (по калориметрическим измерениям флуоресцентного детектора) прокалибровать отсчет энергии на детекторах частиц, которые обеспечивают непрерывные измерения (флуоресцентные детекторы эффективно работают только в безлунные ясные ночи). В течение 10 лет работы «Обсерватория Пьер Оже» накопит экспозицию по измерению частиц с энергией $>10^{19}$ эВ в 30 раз больше, чем установка AGASA. Ожидается, что будет решен вопрос о существовании обрыва спектра при пределе ГЗК и проведен поиск источников частиц на небе Южного полушария Земли.

Большой интерес представляет уточнение данных в области второго излома спектра космических лучей. Здесь интересные новые данные ожидаются на создаваемой модернизированной установке «Тунка» («Тунка-133»). На этой установке будет не только измерен спектр космических лучей до энергий 10^{18} эВ, но и получены данные о составе частиц и анизотропии прихода частиц в области второго излома, что позволит уточнить наше представление о происхождении космических лучей ультравысокой энергии ($>10^{18}$ эВ).

Создание наземных установок для изучения космических лучей предельно высоких энергий по масштабу больше, чем «Обсерватория Пьер Оже», нерентабельно, и эксперименты с еще большей рабочей площадью придется проводить с помощью флуоресцентных детекторов на спутниках Земли. Впервые с таким предложением выступил Дж.Линсли, и в даль-

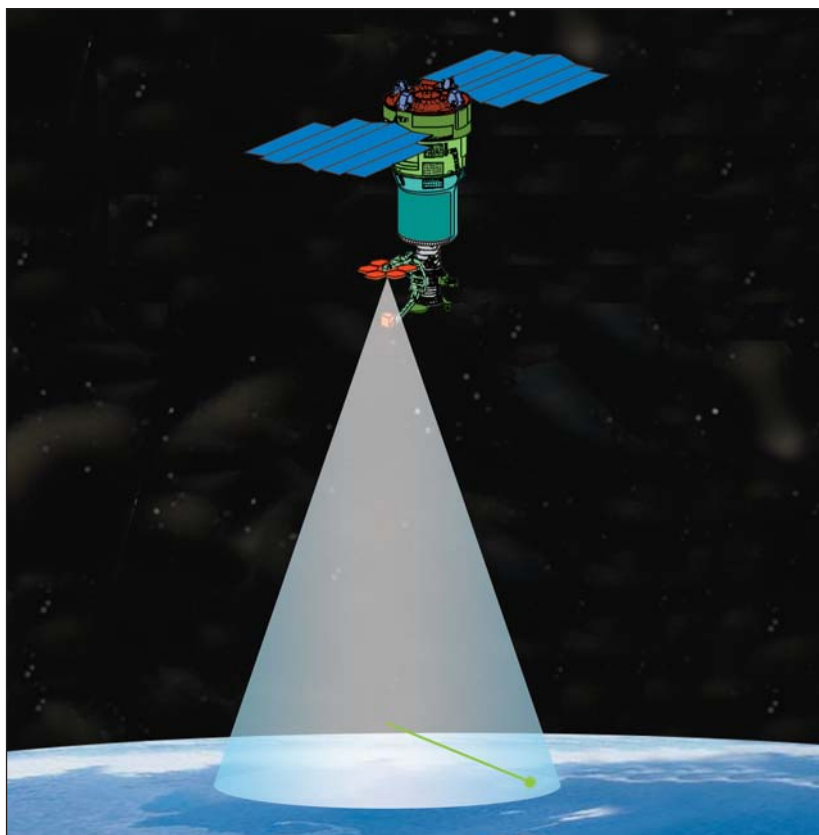


Рис.9. Флуоресцентный детектор на борту спутника «Ресурс-ДК-1» — проект ТУС, подготавливаемый в рамках программы научных исследований федерального космического агентства РФ.

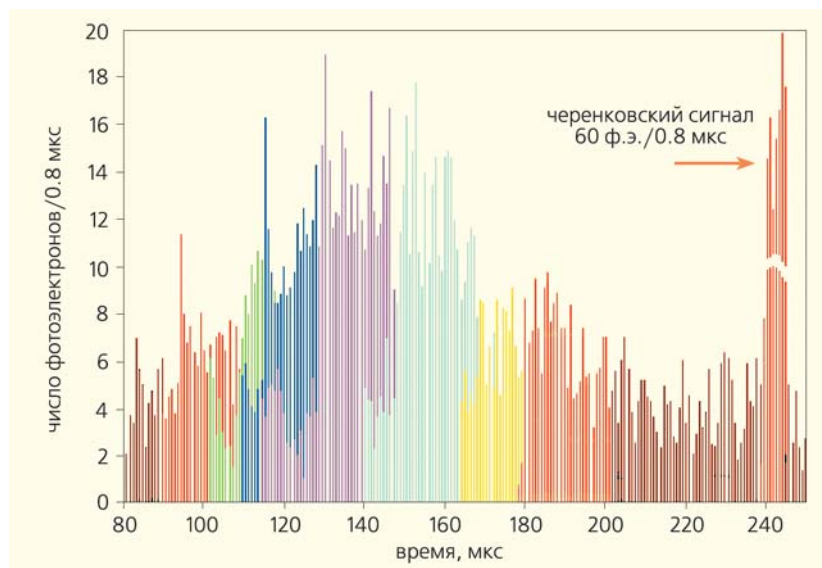


Рис.10. Сигнал флуоресцентного космического детектора. Представлено ожидаемое число фотоэлектронов в ячейках фотоприемника, которое пропорционально числу частиц ШАЛ, развивающегося во времени. В приведенном примере ливень развивается над облаками, в конце приема сигнала появляется рассеянный от облачного слоя черенковский свет.

нейшем оно получило развитие в проектах КЛПВЭ/ТУС Федерального космического агентства РФ [10] и EUSO Европейского космического агентства [11]. Пионерный детектор ТУС (прототип детектора КЛПВЭ) разрабатывается в НИИЯФ МГУ в кооперации с Объединенным институтом ядерных исследований (Дубна) и университетами Мексики и Кореи. Сигнал флуоресценции атмосферы, вызываемый частицами ШАЛ, приходит на зеркало-концентратор детектора и фокусируется на мозаику ячеек фотоприемника, который находится на фокальной поверхности зеркала. В фотоприемнике этот световой сигнал преобразуется в электрический и регистрируется во времени на многоканальном осциллографе. На рис.9 показано размещение детектора ТУС на спутнике «Ресурс», а на рис.10 приведен ожидаемый сигнал от ШАЛ с энергией 10^{20} эВ. Амплитуда сигнала на оси ординат пропорциональна числу частиц ШАЛ в заданный

момент времени. Каждая ячейка приемника в заданный момент времени «видит» ливень на определенной высоте в атмосфере, так что в фотоприемнике фактически регистрируется каскадная кривая ливня и его направление. По числу частиц в максимуме будет определяться энергия первичной частицы. При регистрации ШАЛ с борта спутника детектор с узким полем зрения ориентирован так, что световой сигнал проходит через атмосферу по вертикали, и в этом направлении поглощение света флуоресценции в атмосфере на порядок меньше, чем в наземных опытах в горизонтальном направлении.

Использование зеркала-концентратора большой площади даст возможность начать измерения с малых пороговых энергий. Вместе с тем простая оптика зеркала-концентратора позволяет работать без аберраций лишь в ограниченном поле зрения (15°) и тем самым получать данные на ограниченной площади атмосферы. Другая техно-

логия предполагает создание детекторов с использованием нескольких линз, обеспечивающих достаточное разрешение при широком поле зрения (широкоугольная камера, проект EUSO). Система линз имеет площадь меньше, чем зеркало, и поэтому порог детектора будет выше, чем у детектора КЛПВЭ, но площадь обзора атмосферы будет значительно больше. Оба направления развития «космических» детекторов дополняют друг друга.

* * *

Начатые в конце 40-х годов в СССР простые опыты по регистрации космических лучей ультравысоких энергий переросли в обширную область исследований, в которой одновременно решаются фундаментальные вопросы астрофизики, космологии и физики элементарных частиц. Технологии наблюдений продолжают совершенствоваться, так что мы вправе рассчитывать на новые интересные результаты. ■

Литература

1. Жданов Г.Б., Стожков Ю.И. Физика космических лучей на пороге XXI века // Природа. 2001. №2. С.11—19.
2. Nagano M., Watson A.A. // Rev. Mod. Phys. 2000. V.72. P.689—732.
3. Kbristiansen G.B., Kulikov G.V. // Nuov. Cim. Suppl. 1958. V.8. P.742—745.
4. Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.А., Куликов Г.В., Соловьева В.И. и Хренов Б.А. Диплом открытия №85. 1971.
5. Cronin J.W. // Proc. of Workshop on Observing of Ultra High Energy Cosmic Ray from Space and Earth. AIP Conf. Proc. Melville; N.Y., 2001. V.566. P.1—10.
6. Greisen K. // Phys. Rev. Letters. 1966. V.16. P.748—751.
7. Zatsepin G.T., Kuzmin V.A. // JETP Letters. 1966. V.4. P.78—83.
8. Berezhinsky V.S., Grigorieva S.I. // Astron. Astrophysics. 1988. V.199. P.1—7.
9. Scully S.T., Stecker F.W. // Astroparticle Physics. 2002. V.16. P.271—278.
10. Kbreinov B.A., Panasyuk M.I. et al. // Proc. of Workshop on Observing of Ultra High Energy Cosmic Ray from Space and Earth. AIP Conf. Proc. Melville; N.Y., 2001. V.566. P.57—75.
11. Scarsi L. // Proc. of Workshop on Observing of Ultra High Energy Cosmic Ray from Space and Earth. AIP Conf. Proc. Melville; N.Y., 2001. V.566. P.113—127.

Скромное очарование нелинейностей

О скулении собак, голосе Высоцкого, алтайском пении, и не только

И.А.Володин, Е.В.Володина

Вы могли никогда не слышать о вокальных нелинейностях, но не слышать сами вокальные нелинейности вы никак не могли. Такие явления встречаются во множестве окружающих нас звуков: будь то ломающийся голос подростка, или вопли мартовских котиков, или плач младенца. Переход от нормальных звуков к звукам с нелинейностями вы тоже наверняка слышали: к примеру, во время исполнения арии незадачливым певцом, который старается взять все более высокую ноту. Звук становится все выше и тоньше. И вдруг голос срывается, давая «петуха»...

Но разве могут такие звуки представлять столь существенный интерес, чтобы ими занимался целый Институт теоретической биологии при Университете им.Гумбольдтов в Берлине? Тем не менее это так, причем там исследуют не только кашель, хрипы и дисфункции речи людей (ведь медицинские проблемы или компьютерный синтез речи выглядят вполне достойными предметами для исследования), но и всякие аномалии и сбои в звуках, издаваемых собаками, кошками и разными другими зверями! Более того, для совместных исследований нелинейных явлений сюда съезжаются специалисты разных стран и научных специализаций. В чем же тут дело?



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, анализ двигательного поведения и биоакустический мониторинг популяций.



Елена Владимировна Володина, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела научных исследований Московского зоопарка. Занимается изучением структуры и функции звуков, механизмов звукопродукции.

А дело в том, что модели человеческого голоса и голосового аппарата птиц и зверей помогают понять закономерности проявлений законов нелинейной динамики. Это общие, глобальные законы, и поэтому они при наступлении определенных условий оказываются одинаковыми для систем, совершенно различных по своей природе. Механические пружины, эластичные голосовые связки людей и животных и даже социальные процессы вроде финансовых кризисов и великих депрессий — все подчиняются этим законам. Когда изменения окружающей условий доходят до некоторой критической точки, любая из этих систем достигает так называемого состояния бифуркации (в переводе с латинского — состояние раздвоения, или вилки). После этого достаточно ничтожного усилия, чтобы она скачкообразно перешла в иное состояние и продолжала функционировать уже в нем.

Однако в биоакустике нелинейности стали серьезно изучаться совсем недавно — в 1998 г. опубликовано первое базовое исследование, содержащее подробную классификацию вокальных нелинейностей, разработанную на основе вокализации гиеновой собаки [1]. Для других млекопитающих ни встречаемость, ни функциональное значение нелинейных феноменов изучены не были. Мы же в то время исследовали вокальный репертуар красного волка и обнаружили, что у этого вида вокальные нелинейности распространены чрезвычайно широко. Оказалось также, что у красного волка нелинейности позволяют индивидуально определять животных по голосу, что проливало свет на возможный функциональный смысл этих явлений. Становилось понятно, что нелинейности, по-видимому, гораздо шире распространены у млекопитающих, чем это считалось раньше, и совсем не обязательно связаны с заболеваниями вокального аппарата или

какими-либо дисфункциями. Вполне логично было распространить исследование встречаемости и функционального значения нелинейностей и на другие виды млекопитающих, прежде всего на псовых.

В биоакустике к нелинейным явлениям относят субгармоники, бифонации (двухголосие), сайдебанды (в переводе с немецкого — дополнительные полосы) и голосовой шум. И оказалось, что все эти явления нелинейной динамики великолепно представлены в скулении самых обыкновенных домашних собак!

Конечно, строгий хозяин, который пользуется авторитетом у своей воспитанной собаки, никогда не позволит ей скулить по всякому поводу. Однако все имеет обратную сторону — если вы воспитываете собаку уж в очень большой строгости, то и услышать полный диапазон собачьих нелинейностей вам не придется. Нам, владельцам трех очаровательных такс, такая опасность не грозила, — мы получили «счастливую» возможность слушать их разнообразные скуления во время всех завтраков, обедов и ужинов и параллельно записывать их и анализировать. Кроме того, очень помогли наши друзья и коллеги, которые позволили записать также и голоса своих собак. И вот что удалось обнаружить в собачьих скулениях.

Во-первых, нормальные звуки без нелинейностей! В быденном языке благозвучие принято называть гармонией. В соответствии с этим и обычный, не содержащий никаких нелинейных явлений звук животного или человека тоже носит название гармонического. У собак, как и у большинства других млекопитающих, такие звуки производятся с помощью парных голосовых связок, которые колеблются с частотой несколько сотен или тысяч раз в секунду. Эта частота называется основной частотой звука и измеряется в герцах (Гц). Один герц ра-

вен одному колебанию голосовых связок в секунду. На построенном с помощью компьютера изображении звука — спектрограмме, показывающей зависимость частоты звука от времени, частота колебаний голосовых связок прорисована в виде самой нижней в стопке лежащих друг над другом полос. На рисунке, иллюстрирующем режим нормального голоса, показано гармоническое скуление таксы, у которой частота колебаний голосовых связок составляет 1 кГц (рис.1,*a*). Над основной частотой расположены другие полосы, которые называются гармониками и кратны основной частоте: первая гармоника имеет частоту вдвое выше основной, т.е. 2 кГц, вторая — 3 кГц, а третья — 4 кГц. При этом расстояние между двумя соседними гармониками все время остается равным величине основной частоты. Точно так же построены и гласные звуки у людей. К примеру, если вы сами произнесете в микрофон звук «а-а-а» и потом построите на компьютере его спектрограмму, то картинка будет очень похожей на гармоническое скуление собаки, разве что основная частота будет ниже — около 200 Гц у мужчин и около 300 Гц у женщин (рис.2,*a*)

Каким же образом голосовые связки производят звуки? Связки парные, и поэтому источников колебаний на самом деле два, но колеблются они синхронно. Это происходит потому, что при каждом цикле колебаний связки соприкасаются друг с другом. Но что же заставляет их регулярно соприкасаться? Во-первых, их эластичность, а во-вторых, так называемые силы Бернулли. Чтобы понять, как они работают, вспомним историю «Титаника». Говорили, что над этим кораблем с самого начала висел злой рок. Еще на выходе из бухты в свой первый (оказавшийся также и последним) рейс «Титаник» едва не столкнулся со швартующимся «Нью-Йорком» и лишь чудом из-

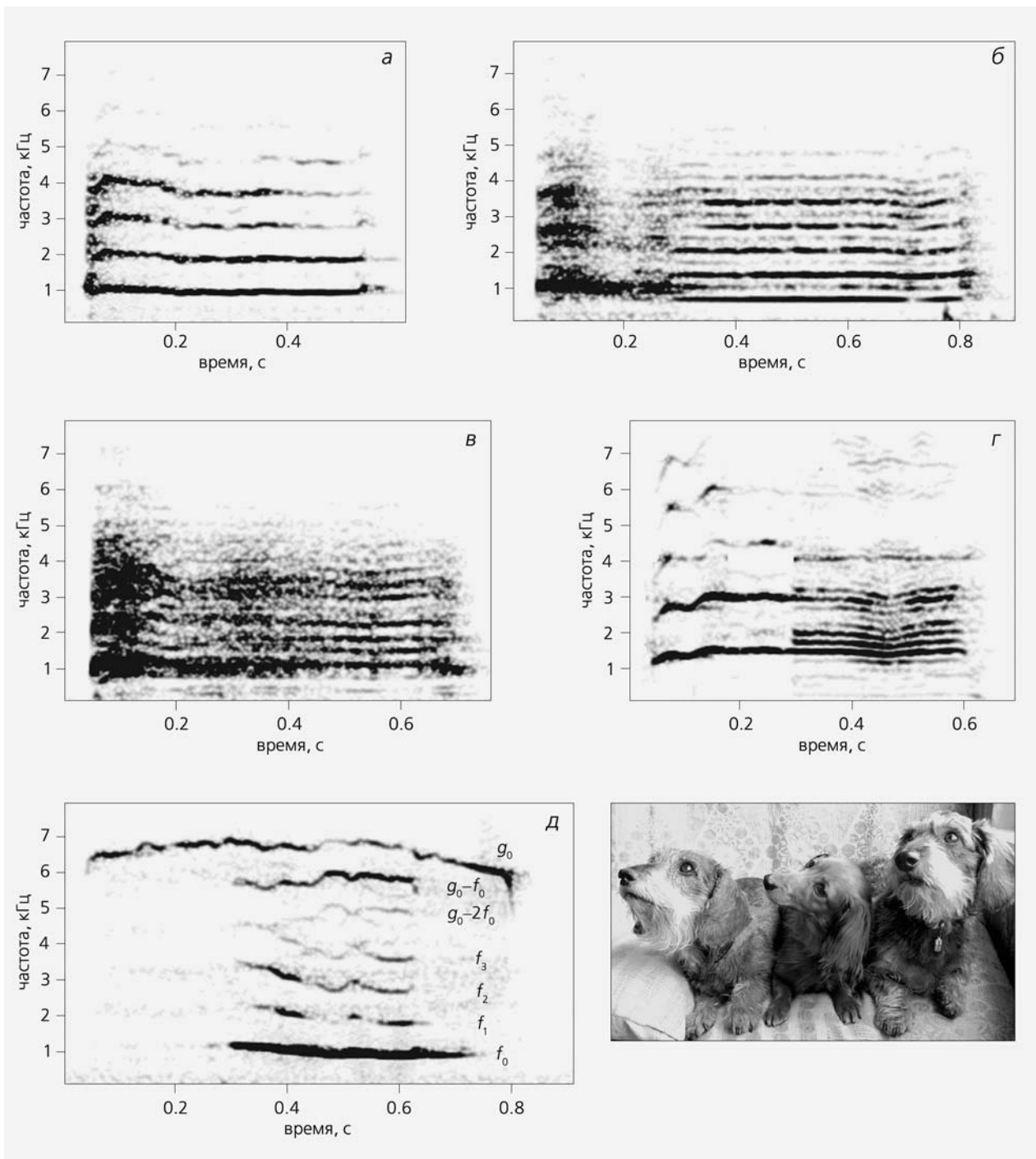


Рис.1. Спектрограммы скуления собак. а — тональное скуление без нелинейностей в спектре: нижняя полоса — это основная частота, равная частоте, с которой колеблются голосовые связки. Над ней лежат ее гармоники, значения которых кратны основной частоте. б — скуление с субгармониками — дополнительными полосами в $1/2$ величины основной частоты. в — скуление, содержащее голосовой шум, появляющийся в виде неравномерного зачернения. Гармонические полосы, проступающие в шуме, свидетельствуют о том, что шум производится именно в области голосовых связок, а не где-нибудь выше в вокальном тракте. г — сайдебанды заметны в виде полосок, расположенных вверх и вниз от основной частоты. Величина шага между этими полосками равна модулирующей частоте, образующей сайдебанды. д — бифонация в скулении. Видна нижняя основная частота f_0 с ее гармониками f_1 , f_2 и f_3 , и верхняя основная частота g_0 . Частоты f_0 и g_0 взаимодействуют, образуя комбинаторные частоты в результате сложения и вычитания обеих основных частот. В этом звуке видны комбинаторные частоты $g_0 - f_0$ и $g_0 - 2f_0$.

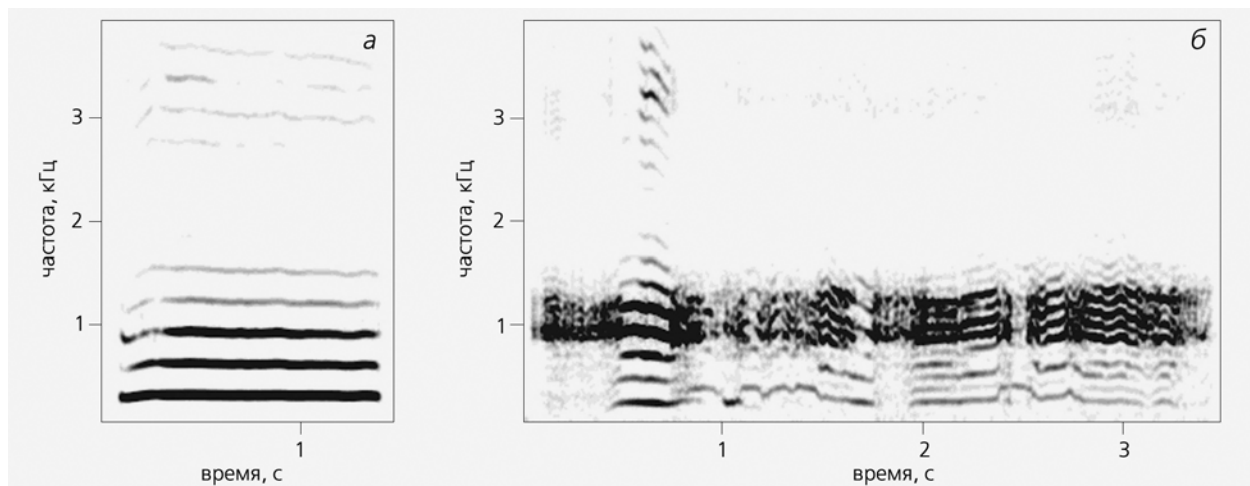


Рис.2. Спектрограммы голоса человека. а — гласный звук «а-а» здорового человека содержит только основную частоту и кратные ей гармоники. б — гласный звук «а-а» пациента с ларингитом начинается с голосового шума, затем на протяжении первой секунды включается участок нормального голоса, который опять переходит в шум. На третьей секунде включается субгармонический режим и появляются полосы в $1/2$ основной частоты.

бежал катастрофы. Что же случилось? Дело в том, что из-за быстрого движения «Титаника» под воздействием сил Бернулли суда неудержимо повлекло друг к другу. Только усиленная работа двух буксиров, вовремя оттянувших «Нью-Йорк», помогла спасти положение. Вы можете это проиллюстрировать для себя, если возьмете за верхние края два листа бумаги и, удерживая их на расстоянии около 5 см друг от друга, подуете между ними. Их нижние края притянутся друг к другу. Аналогично притягиваются друг к другу и голосовые связки, вибрирующие в потоке воздуха, поступающего из легких. За счет эластичности и жесткого закрепления с одной стороны связки не слипаются плотно, а лишь ненадолго соприкасаются при каждом цикле колебаний и затем вновь расходятся, вибрируя в результате с одинаковой частотой.

Если же давление потока воздуха будет нарастать, а связки неравномерно натягиваться, то в какой-то момент может получиться так, что они будут соприкасаться через раз. Тогда одна связка будет колебаться в два раза медленнее, чем другая,

и число колебаний одной будет соответствовать основной частоте, а второй — вдвое меньше. При этом между гармониками появятся дополнительные полосы с интервалом в одну вторую основную частоты. Эти полосы называются субгармониками, а режим колебаний голосовых связок — субгармоническим (рис.1,б).

Теперь поговорим о голосовом шуме. В основе шума, который способны производить голосовые связки, лежит физическое явление с пугающим названием детерминированный хаос. Детерминированный — значит predetermined. А какая определенность может быть в хаосе? Оказывается, может. Для городского жителя, регулярно перемещающегося в часы пик в метро, примером детерминированного хаоса может быть толпа, хлынувшая к эскалатору из подошедшего поезда. Можете ли вы описать с помощью каких бы то ни было уравнений, в какой точке этой толпы вы окажетесь в следующее мгновение? Однако поток подхватывает вас и несет в нужном направлении, делая движения всех людей в этом потоке predetermined-

ными, хотя и хаотическими. То же верно и в отношении голосового шума. При этом режиме колебания голосовых связок рассинхронизированы и хаотичны, но они продолжают взаимодействовать при каждом цикле движений, что заставляет их колебаться вокруг некой средней частоты, давая «размазанный» спектр (рис.1,в).

Сайдебанды возникают в тех случаях, когда на высокую основную частоту колебаний голосовых связок накладывается другая, гораздо более низкая, модулирующая частота. Это можно представить как большие медленные волны с мелкой быстрой рябью внутри каждой из них. На спектрограмме высокая частота прорисовывается как ей и положено, в виде основной частоты и ее гармоник, а низкая выглядит как идущие сверху и снизу от гармоник постепенно затухающие спектральные полосы, шаг между которыми равен модулирующей частоте (рис.1,г). Еще неясно, что вызывает такие медленноволновые колебания; к примеру, это могут быть черпаловидные хрящи (к которым одним концом непосредственно крепятся го-

лосовые связки), надгортанник (который не дает пище попасть в дыхательные пути) или парус — клапан между носовой и ротовой полостью.

В радиотехнике ситуация обратная: «полезный сигнал» — это не высокая несущая частота (к примеру, какая-нибудь 101 FM, на которую вы настраиваете свой радиоприемник), а низкая модулирующая, в роли которой выступает человеческий голос и музыка. Приемник срезает несущую частоту, оставляя лишь модулирующую, которую мы и слышим при прослушивании радиопрограмм.

Сайдебанды (как и другие нелинейности) могут встречаться в голосе регулярно и придавать ему особую тембральную окраску. Трудно не согласиться, что известный бард Владимир Высоцкий своей популярностью обязан не только прекрасным текстам песен и хорошей музыке. Немалую роль в феномене Высоцкого сыграл также и его голос. В этом сразу можно убедиться, услышав песни Высоцкого пусть даже в очень хорошем, но не в авторском исполнении. При этом попытки подражать голосу и исполнительской манере автора неизменно не имеют успеха.

Секрет обаяния голоса Высоцкого — в присущих ему нелинейностях. Раскрыть его оказалось очень непросто, и главной помехой в этом оказалась неразлучная спутница Высоцкого — гитара. Высоцкий никогда не исполнял речитативов и не тянул ноты, как это делают оперные певцы, и как мы ни пытались найти участки только с голосом, без гитары, ритмичные гитарные аккорды неизменно «замазывали» все участки песен, где явно были слышны нелинейности. Кроме этого, не годились также участки, где звучали согласные звуки, поскольку при произнесении согласных подключаются наши традиционные артикуляторы — зубы и язык, которые полностью маскируют сигнал источника — го-

лосовых связок. Нужны были протяжные слоги без музыки, к тому же акцентированные голосом. Мы просмотрели на компьютере множество записей, пока не выбрали несколько фрагментов из песен «Ну вот исчезла дрожь в руках» и «Баллада о любви», пригодных для спектрального анализа.

Оказалось, что особый колорит голоса создавался благодаря его природной способности к продукции двух частот, формирующих сайдебанды. Одна из этих частот — обычная частота колебаний голосовых связок, которая у мужчин, напомним, составляет около 200 Гц. Кроме основной частоты, при испол-

нении некоторых слогов, где требуется напряжение голоса, у Высоцкого появлялась и вторая частота около 65 Гц. В результате в спектре звука возникали сайдебанды, которые и создавали тот самый знаменитый эффект звучащего аккорда, которого нельзя достичь ни с помощью нарочитой хрипlosti голоса, ни его перегрузкой. Дело в том, что за хрипlostь в голосе ответствен голосовой шум, а у Высоцкого звук голоса совершенно чистый, но очень значительно модулирован по амплитуде, что на слух воспринимается как дрожание. На спектрограмме слова «всегда» хорошо заметны полосы сайде-

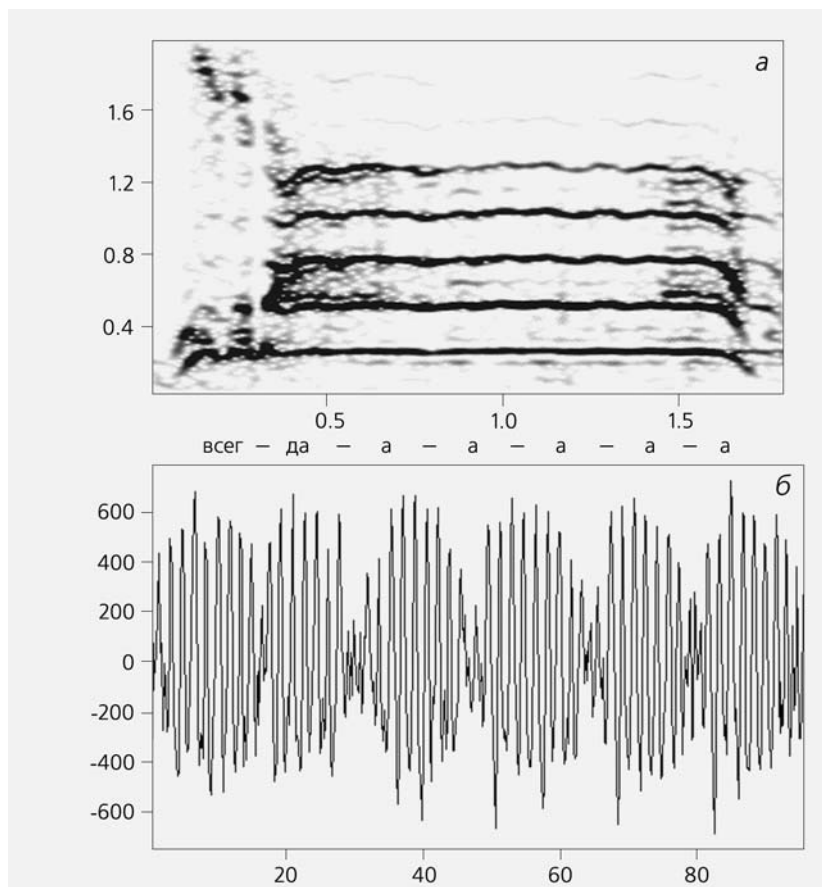


Рис.3. Голос Владимира Высоцкого. а — на спектрограмме слова «всегда-а-а» из песни «Ну вот исчезла дрожь в руках» хорошо заметны полосы сайдебандов над и под основной частотой и ее гармониками в начале и конце звука «а-а-а». б — осциллограмма конца фразы «Я поля-а-а» из песни «Баллада о любви» показывает, что основная частота голоса с периодом 1.5 мс сильно модулирована по амплитуде второй низкой частотой с периодом около 15 мс.

бандов в начале и конце звука «а-а-а» (рис.3).

Двухголосие, или бифонация, — это тоже одновременное появление двух разных частот в спектре. Строго говоря, в физическом смысле сайдебанды и бифонация — явления одного порядка, и различия между ними скорее количественные, а не качественные. Как правило, сайдебанды появляются, когда одна частота колебаний в голосе намного медленнее, чем вторая; к примеру, одна составляет десятки, а другая — сотни герц (как в голосе Высоцкого), а бифонация — когда и та, и другая частоты составляют сотни и тысячи герц.

Жесткошерстная такса Хильда обладала прямо-таки незаурядными способностями производить бифонации. На спектрограмме ее крика хорошо видна работа двух различных источников звука (рис.1,д). Самая нижняя частотная полоса соответствует основной частоте — частоте колебаний голосовых связок (900 Гц) и обозначена f_0 . Над ней располагаются кратные ей гармоники основной частоты. А выше них лежит не кратная основной частотная полоса, обозначенная g_0 , которая к тому же начинается раньше и заканчивается позже всех других. Этот звук явно произведен другим источником, а не голосовыми связками. Однако он независим от голосовых связок только до тех пор, пока звучит один. Как только включаются связки и до тех пор, пока их частота f_0 с ее гармониками и частота g_0 издаются одновременно, они взаимодействуют друг с другом, давая в результате комбинаторные частотные полосы, представляющие собой суммы и разности f_0 и g_0 ($g_0 - f_0$; $g_0 - 2f_0$; $g_0 + f_0$ и т.д.). Стоит ли говорить, что в поощрение за такие крики собаке доставались самые вкусные кусочки!

Что же это за второй источник, которым собаки (и другие псовые) пользуются для издавания бифонических звуков? Сейчас в различных научных пуб-

ликациях на его роль предлагаются самые разные кандидаты: к примеру, носовой тракт (тогда звук производился бы подобно ветру в трубе), пленочки-мембраны, имеющиеся на голосовых связках некоторых млекопитающих (мембрана дает высокую частоту, а мясистая толстая порция голосовой связки — основную частоту). Есть и еще более изощренные гипотезы, но пока ни одна из них не получила подтверждения. А поскольку обсуждение ничем не подтвержденных гипотез в науке называется спекуляцией, то оставим пока это малопочтенное занятие и лучше поговорим о двухголосых людях!

Эффект двухголосия может создаваться и тогда, когда каждая из голосовых связок вибрирует со своей собственной частотой, никак не синхронизируя свои движения со второй. Это происходит при заболеваниях голосового аппарата, вызывающих частичный паралич одной или обеих связок. У здоровых людей двухголосие встречается крайне редко — в литературе упоминается всего два случая «бифонических людей» [2]. Кроме этих случаев истинного двухголосия у людей существует также и ложное двухголосие — знаменитое искусство горлового пения народов Алтая, Саян, Башкирии и Тувы.

Чтобы понять это явление, необходимо представлять, чем отличается настоящий профессиональный, «оперный» певческий голос от пения человека без вокальных способностей. Такие данные были получены В.П.Морозовым, который выяснил, что настоящие мастера вокала, в отличие от непрофессионалов, подключают в помощь голосовым связкам маленький резонатор — расположенную над голосовыми связками так называемую вентрикулярную полость объемом всего в 4 см³ [3]. Как ни парадоксально, но способность заставить этот крошечный объем резонировать по времени пения позволяла голосу Шаляпина перекрывать оркестр и греметь, разносясь по огромным залам. Именно этот резонатор ответствен за резкое акцентирование частот в области так называемой певческой форманты — около 2.5–3 кГц. Певческому голосу можно научить, но, как правило, для этого необходимы природные задатки.

Но какое отношение все это имеет к двухголосию и к горловому пению? Ведь оно абсолютно не похоже на привычный нам вокал, хотя и имеет своих ценителей. Секрет двухголосого пения состоит в том, что никакого настоящего двухголосия в нем на самом деле нет! Основная частота с ее гармониками

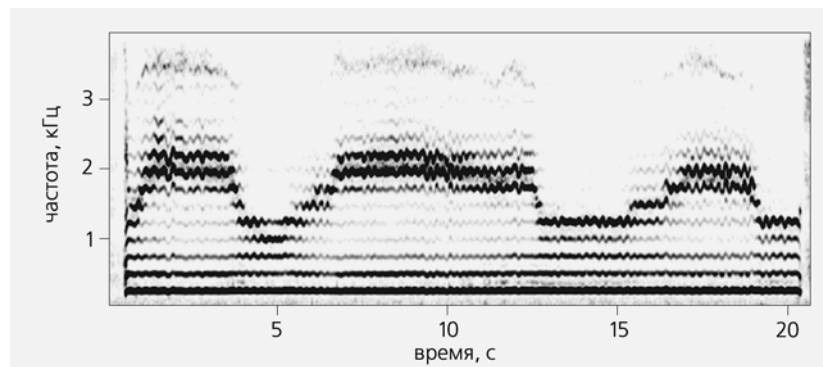


Рис.4. На спектрограмме фрагмента алтайского горлового пения (стиль узлау) хорошо видно, что в спектре звука присутствует всего одна частота с ее гармониками, но исполнитель за счет тонкого управления резонансами вокального тракта перераспределяет энергию в области верхних гармоник, что создает воображаемый эффект двухголосия.

все время сохраняется неизменной, и никаких свидетельств появления второго голоса (частотных полос, не кратных основной частоте) нигде не появляется (рис. 4). Откуда же слышится второй голос? А просто певческая форманта, которая по сути — усиленные, акустически акцентированные гармоники в частотной области около 2 кГц, начинает «жить своей жизнью», создавая иллюзию появления второго голоса. Получается, на слух мы воспринимаем основную частоту и ее усиленные резонансом гармоники как отдельные голоса. Более того, исполнители одного из стилей горлового пения — узла — способны играть этой формантой как мячиком, перебрасывая усиленные участки частотного спектра то вверх, то вниз. По существу, исполнители двухголового пения — это гениальные певцы, которые довели свое искусство до абсолюта. Если провести аналогии с изобразительным искусством, то двухголосие — это крайняя степень абстракционизма в пении, своего рода аналог «Черного квадрата» Малевича.

Теперь подведем итог всему сказанному и дадим краткую классификацию того, что представляют собой нелинейные вокальные феномены. Итак, голосовые связки млекопитающих — это система из двух сцепленных источников колебаний. В случае синхронизации колебаний в отношении 1:1 они производят гармонические звуки без нелинейностей, в ином кратном отношении (2:1, 3:1, 4:1) — субгармоники, при рассинхрони-

зированных колебаниях, сопровождающихся сцеплением связок, — голосовой шум, в отсутствие сцепления и независимости колебаний — бифонации.

А какую роль могут играть вокальные нелинейности у животных? Хотя с физической природой и структурой нелинейностей уже более-менее разобрались, об их функции известно очень мало. Однако первые исследования в этом направлении уже начали появляться, и, поскольку интерес к проблеме огромен, не за горами тот день, когда любопытные открытия начнут следовать одно за другим. Так что же известно уже сейчас?

Рассмотрим те случаи, когда нелинейности — это результат перегрузки вокального аппарата или результат заболевания (рис. 2,б). Собственно, животному, производящему такие крики, они никакой пользы не принесут, а вот неприятности доставить могут. Для индивидуумов другого пола это сигнал, что потенциальный супруг не вполне здоров и будет плохой опорой для воспитания потомства, а для хищников — указание на легкую добычу.

Но есть примеры и несомненной пользы нелинейностей для издающего их животного. По нашим наблюдениям, для назойливого птенца белого журавля стерха — это прекрасный способ бесконечно терроризировать своих родителей, требуя, чтобы его кормили, охраняли и ни на минуту не забывали о его существовании. Действительно, как можно забыть о существовании, которое постоянно издает громкие

крики, к которым невозможно привыкнуть, потому что они все время разные из-за включения всевозможных нелинейностей! К подобному способу воздействия на родителей прибегают также человеческие и обезьяньи детеныши. Этого же эффекта достигают и собаки, используя бифонации, субгармоники и шум в скулениях как способ обратить на себя внимание хозяев.

По данным П.Миллера, киты-косатки, настоящие специалисты в производстве бифонических звуков, могут использовать их для того, чтобы определять направление движения членов своей стаи [4]. Высокие и низкие частоты распространяются по-разному — низкие более-менее одинаково во все стороны, а высокие — пучком. Анализируя разницу в интенсивности высокой и низкой частоты звука, косатки могут определить, к ним или от них движется кричащее животное. Немецкий ученый Г.Петерс с коллегами показали, что пятнистые гиены с помощью субгармоник узнают друг друга по голосу [5]. Включая и выключая субгармонический режим во время ухающих криков, гиены придают голосу индивидуальность, что немаловажно для координации действий во время ночных рейдов в поисках пищи.

Не так уж много известно, скажете вы? Но ведь и о самих нелинейных феноменах в голосах мы узнали всего несколько лет назад. Конечно, надо искать дальше, и здесь как никогда актуальны слова из песни Высоцкого: «Нам тайны нераскрытые раскрыты пора»! ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 03-04-48919.

Литература

1. Wilden I., Herzel H., Peters G. et al. // Bioacoustics. 1998. V.9. P.171—196.
2. Herzel H., Reuter R. Biphonations in voice signals // Nonlinear, Chaotic and Advanced Signal Processing Methods for Engineers and Scientists / Ed. R.A.Kats. Woodbury, 1996. P.644—657.
3. Морозов В.П. Биофизические основы вокальной речи. Л., 1977.
4. Miller P.J.O. // Behavioral Ecology and Sociobiology. 2002. V.52. P.262—270.
5. Peters G., East M.L., Herzel H. et al. // Bioacoustics. 2004. V.14. P.99—109.

Вихри и смерчи в твердых оболочках Земли: ВОЗМОЖНЫ ЛИ ОНИ?

Е.Г.Мирлин

Как выглядят атмосферные вихри — циклоны и антициклоны, — знает практически каждый благодаря снимкам из космоса, которые показывают во время телевизионных прогнозов погоды. Хорошо известно о могучей, разрушительной силе смерчей. В Мировом океане в 60—70-х годах прошлого столетия также были открыты синоптические вихри, весьма близкие по форме атмосферным. Парадоксально, но структуры, имеющие в плане вихреобразную конфигурацию, в литосфере (т.е. в верхней твердой оболочке Земли) были обнаружены значительно раньше — в конце 20-х годов XX в. Длительное время они считались своего рода «геологической экзотикой», но в последние годы выяснилось, что вихревые движения играют весьма существенную роль в эволюции твердых оболочек нашей планеты, поскольку ответственны за формирование ложа океанов, т.е. двух третей земной поверхности [1].

На первый взгляд, трудно представить, как в оболочках, которые принято считать твердыми, могут происходить вихревые движения. Однако в конце прошлого столетия усилиями главным образом отечественных специалистов была разработана новая концепция протекающих в земных оболочках процессов, суть которой — нелинейность. Отклик среды на даже очень незначительное воздействие может



Евгений Гилельевич Мирлин, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора Государственного геологического музея им.В.И.Вернадского РАН. Область научных интересов — геодинамика, геология морей и океанов.

оказаться весьма существенным при длительном геологическом развитии [2]. Земная твердь приобретает свойства текучести. В ней могут возникать и сохранять устойчивость пространственно-временные структуры, аналогичные тем, которые известны во внешних оболочках нашей планеты: вихри, смерчи и др.

Каким же образом вихревое движение проявляется в литосфере?

На рис.1 показаны две модели раскрытия океанского бассейна — плитотектоническая и при вихреобразовании. Природа некоторых хорошо известных геодинамических явлений, относящихся к строению и развитию океанской литосферы, наилучшим образом объясняется именно с позиций вихревого движения. Так, вращение блоков коры может объяснить то, что изохроны океанского ложа секут границы формирующейся впадины, как это отчетливо видно на картах возраста дна Миро-

вого океана. Вихреобразование приводит к возникновению разнорядковой структурной кулиности (сегментации), наиболее характерной как для зон сочленения океана с континентом, так и для океанского ложа в целом. Возникновению сегментации способствует и то, что скорость перемещения вещества в вихревом потоке меняется от внутренней части к внешней. В океанской литосфере по этой причине доминируют сдвигово-раздвиговые напряжения и, соответственно, разноранговые структуры преимущественно ромбовидной формы, природа которых обусловлена спецификой данного поля напряжений. Подобные явления приводят к расслоенности океанской коры на разных структурных уровнях, а в ряде случаев — к образованию взброшенных блоков в океанских рифтах, а также надвиго-чешуйчатых структур. В пределах срединно-океанских хребтов (СОХ) возникают струк-

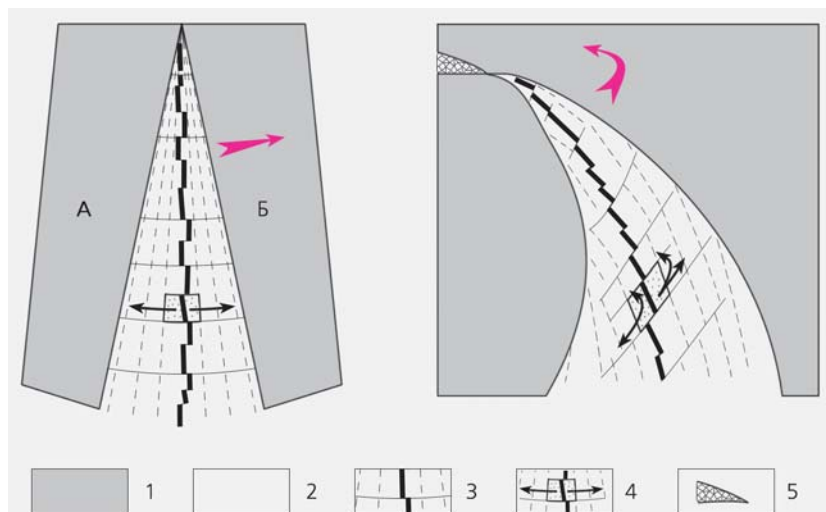


Рис. 1. Структурная форма океанского бассейна и геодинамика разделения континентальных плит — плитотектоническая модель (слева) и модель вихреобразования. 1 — кора континентальная; 2 — океанская; 3 — изохроны океанской коры и трансформные разломы, утолщенная линия — ось спрединга; 4 — элементарные объемы плит и направления их движения; 5 — область сжатия. Цветные стрелки — векторы движения плиты Б относительно плиты А [1].

туры, косые и диагональные по отношению к простиранию рифтовой зоны. Развитие во времени и в пространстве асимметричного по своей природе конвекционного мантийного вихря обуславливает фундаментальную структурную асимметрию океанских бассейнов. Кроме того, геодинамическая обстановка вдоль границы разделения плит не остается однородной, а меняется из-за вихревого закручивания мантийного конвекционного потока. В области замыкания вихря наблюдается сжатие, как это установлено в отдельных участках пассивных окраин континентов, а при расширении вихря сжатие переходит в растяжение.

Развитие вихревых структур океанской литосферы более подробно можно показать на примере Северной Атлантики, а также области сближения Тихоокеанской, Австралийской и Евразийской литосферных плит, где формируются небольшие по размеру бассейны с океанской корой, так называемые «малые» океаны.

Неустойчивость океанообразования и вихревые структуры литосферы

Северная Атлантика. Общая тенденция в раскрытии Северной Атлантики — продвижение (пропагеттинг) оси раздвига с юга на север. В раннем мелу (120 млн лет назад) началось раскрытие океана к северу от Азорских о-вов (рис.2). Оно осложнялось тем, что наряду с основным стволом раздвига от него отделились побочные ветви, которые со временем отмирали. К ним относятся: трог Рокколл, Бискайский залив (его раскрытие сопровождалось вращением Иберийского п-ова), впадина Лабрадорского моря, а также котловины Поркьюпайн и Баффинова. В первых трех континентальная стадия рифтогенеза сменилась океанической, и в них происходил процесс аккреции океанской коры в зонах спрединга. Сейчас они представляют собой сужающиеся в плане и одновременно закручивающиеся наподобие вихря

впадины с океанской корой. Что касается двух других, то им свойственна континентальная кора, сильно утоненная в результате рифтогенеза. Так, например, в котловине Поркьюпайн мощность консолидированной части коры составляет менее 10 км.

Около 90 млн лет назад растяжение в Бискайском заливе, в трог Рокколл и во впадине Поркьюпайн, по всей вероятности, прекратилось, но продолжалось в Лабрадорском море и в Баффиновой котловине. Континентальный рифтогенез в пределах окраины Норвегии в ее средней части (плато Ворринг) продолжался вплоть до палеоцена, однако отделение Гренландии от Евразии началось около 60 млн лет назад не вдоль континентальных рифтов, а значительно западнее — вдоль осевой линии срединно-океанских хребтов Рейкьянес, Кольбейнсей и Мона. В данном случае мы имеем дело с типичным примером того, как континентальные рифты отмирают, не превратившись в океанские бассейны, а разделение континентов начинается вдоль совершенно иной линии. К этому же времени заложились спрединговые зоны к юго-востоку и северо-западу от микроконтинента Ян-Майен. В результате он обособился в самостоятельную, небольшую по размеру континентальную литосферную плиту.

Процесс океанообразования в Лабрадорском море и в Баффиновой котловине прекратился 40 млн лет назад. Однако океаногенез продолжал продвигаться на север. При этом от Евразии отделилась Гренландия. Но, как и на предыдущих этапах, перемещение оси раздвига было не простым. В данном случае оно осложнилось Ян-Майенской микроплитой, вращающейся против часовой стрелки вокруг полюса, расположенного в непосредственной близости от о.Ян-Майен. Вращение сопровождалось формированием двух вихреобразных спрединго-

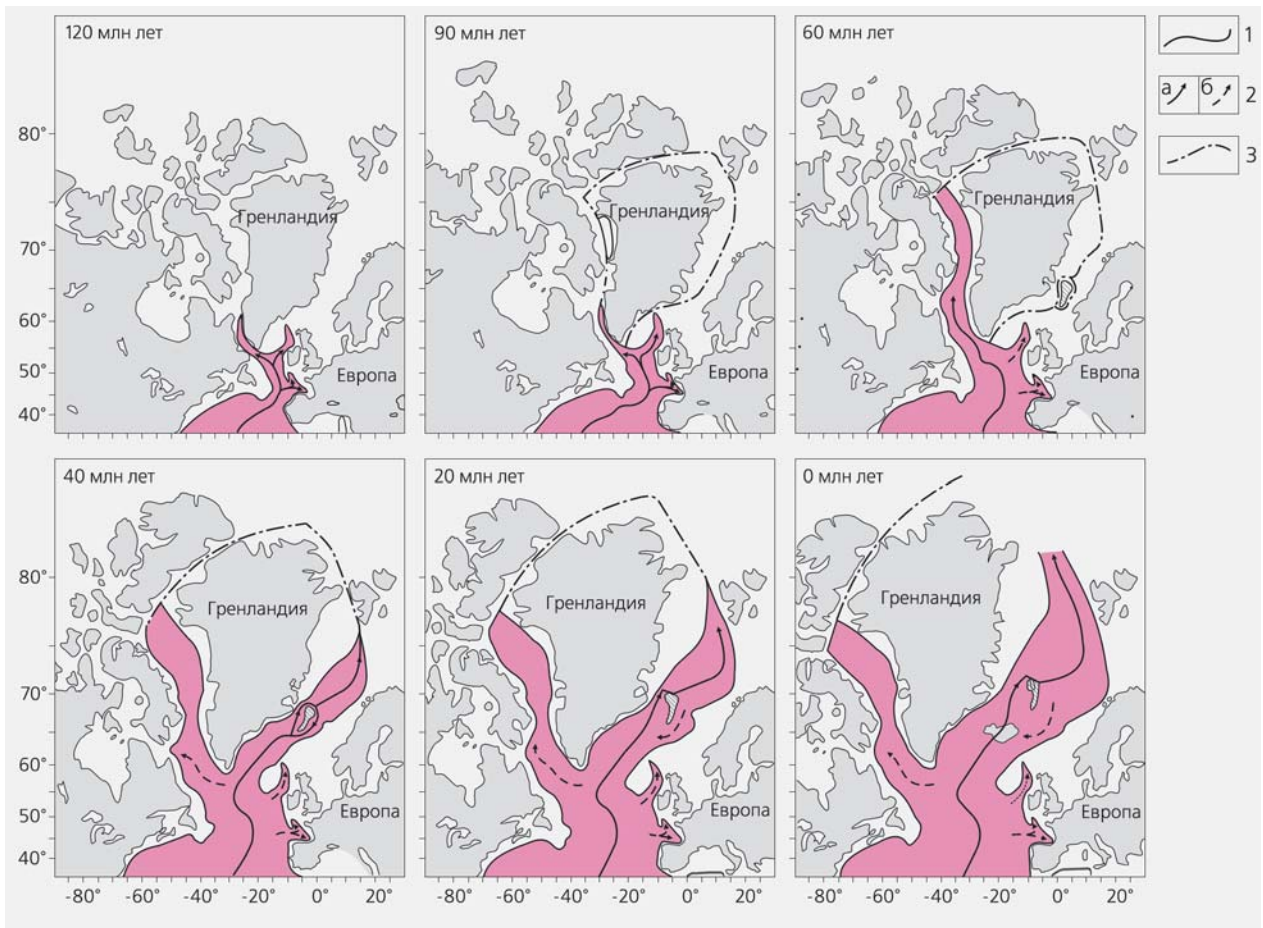


Рис.2. Развитие вихреобразных спрединговых систем Северной Атлантики в разные временные периоды. 1 — граница океан—континент. 2 — направление продвижения спрединговых систем: а — активных, б — отмерших. 3 — линия первоначального раскрытия. Цветом показаны океанские впадины.

вых систем. В период 40–20 млн лет назад на месте Шпицбергенской сдвиговой зоны также вследствие пропегейтинга оси раздвига в северном направлении сформировался срединно-океанский хребт Книповича. Закручивание продвигающейся генеральной зоны раздвига Северной Атлантики, намечившееся на предыдущем этапе, получило свое отчетливое завершение. Во всех бассейнах со зрелой океанской корой спрединг характеризовался крайней неустойчивостью, которая проявлялась в строении зон раздвига плит, изменении в пространстве осей разрастания дна, дискретности магматических процессов и других геодинамических феноменах [3].

Наконец, строение Северной Атлантики в современную эпоху наглядно демонстрирует рассмотренную выше эволюцию. Главное то, что океанский бассейн состоит из системы вихреобразных в плане впадин с океанской корой, имеющих различные размеры, возраст и самостоятельную систему спрединга. Соответственно, кроме крупных континентальных массивов Евразии, Северной Америки и Гренландии, существует целая группа микроконтинентов и приподнятых блоков. К тому же вихреобразные движения, сопровождающие раскрытие океана, приводят к возникновению деформационных структур сжатия в определенных частях континентальных пассивных окра-

ин. Детальные сейсмические исследования в их пределах выявили многочисленные складчатые структуры, обусловленные сжимающими напряжениями.

Итак, в эволюции Северной Атлантики отчетливо просматриваются две тенденции. Первая — пространственно-временная неустойчивость самого процесса океанообразования. Вторая — развитие основной и второстепенных зон раздвига включает в себя их продвижение и одновременное закручивание. В итоге, Северная Атлантика представляет собой совокупность различных по масштабу вихреподобных океанских бассейнов.

Область сочленения Евразии и Австралии с Тихим оке-

аном. Здесь располагаются относительно небольшие по размерам котловины, образовавшиеся в результате спрединга океанского дна: Западно-Филиппинская, Окинава, Марианского трога, Каролинская, Каролинская-Манус, Северо- и Южно-Фиджийская, Лау-Хавр. Их эволюции свойственны те же тенденции, что и развитию Северной Атлантики.

Вихреобразный стиль раскрытия можно продемонстрировать на примере спрединговой котловины Тасманова—Эмералд

ралд, формировавшейся в интервале от эоцена до современности на границе Тихоокеанской и Австралийской плит к югу от Новой Зеландии (рис.3, врезка). Данный район охватывает подводный хребет Маккуори и его продолжение на острове в виде Альпийского сдвига, подводные плато Кемпбелл и Челленджер, глубоководные котловины Эмералд и Тасманова. После того, как прекратился спрединг в Тасмановом море, произошло (около 45 млн лет назад)

заложение новой границы между Австралийской и Тихоокеанской литосферными плитами, разделившей единый ранее континентальный массив, который состоял из плато Челленджер и Кемпбелл. В это время в южной части о.Южный существовал офиолитовый пояс хребта Дан. Он как раз подтверждает то, что относительное движение между плитами было не просто раздвиговым, а сопровождалось закручиванием и сжатием в области замыкания вихря.

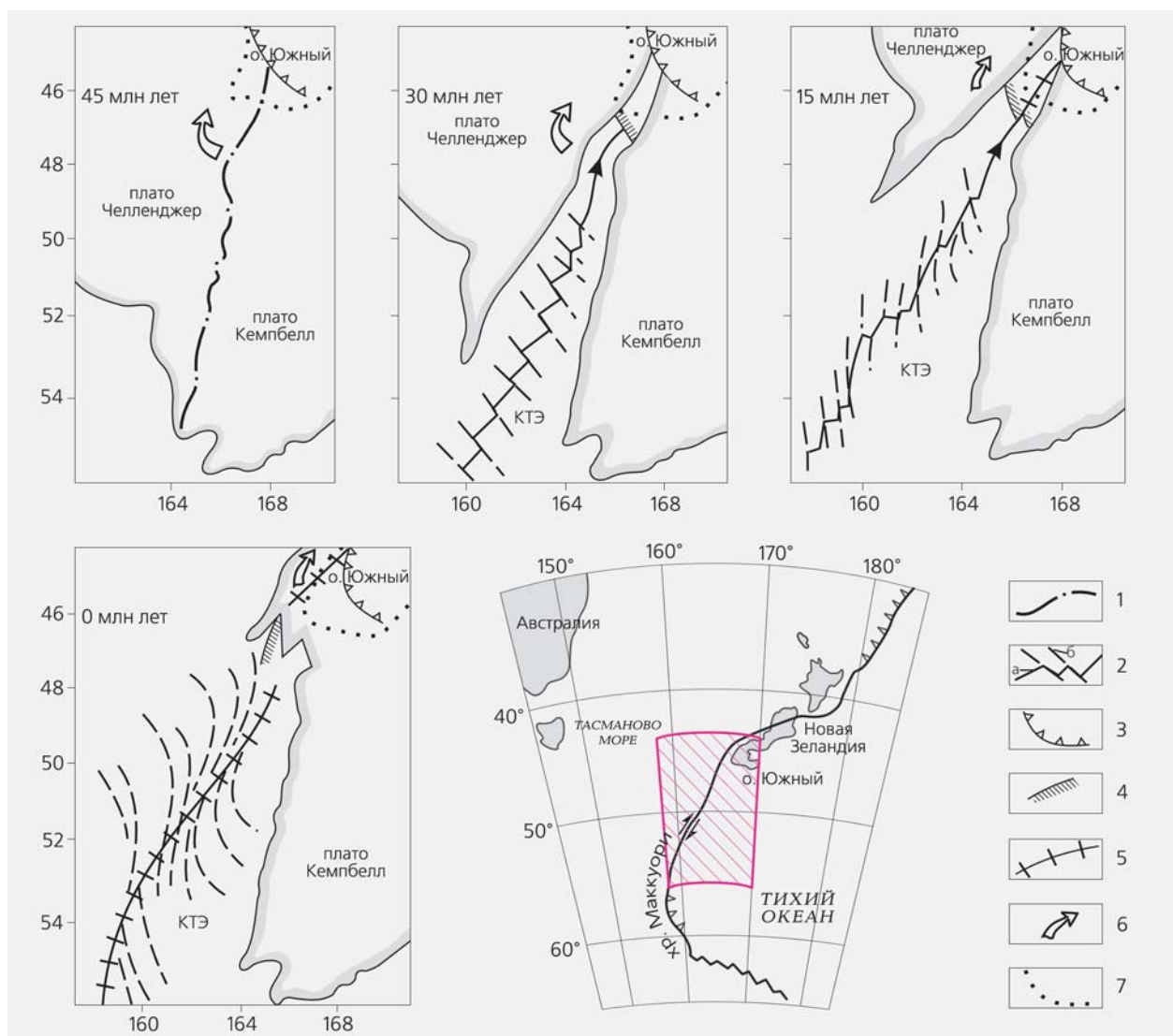
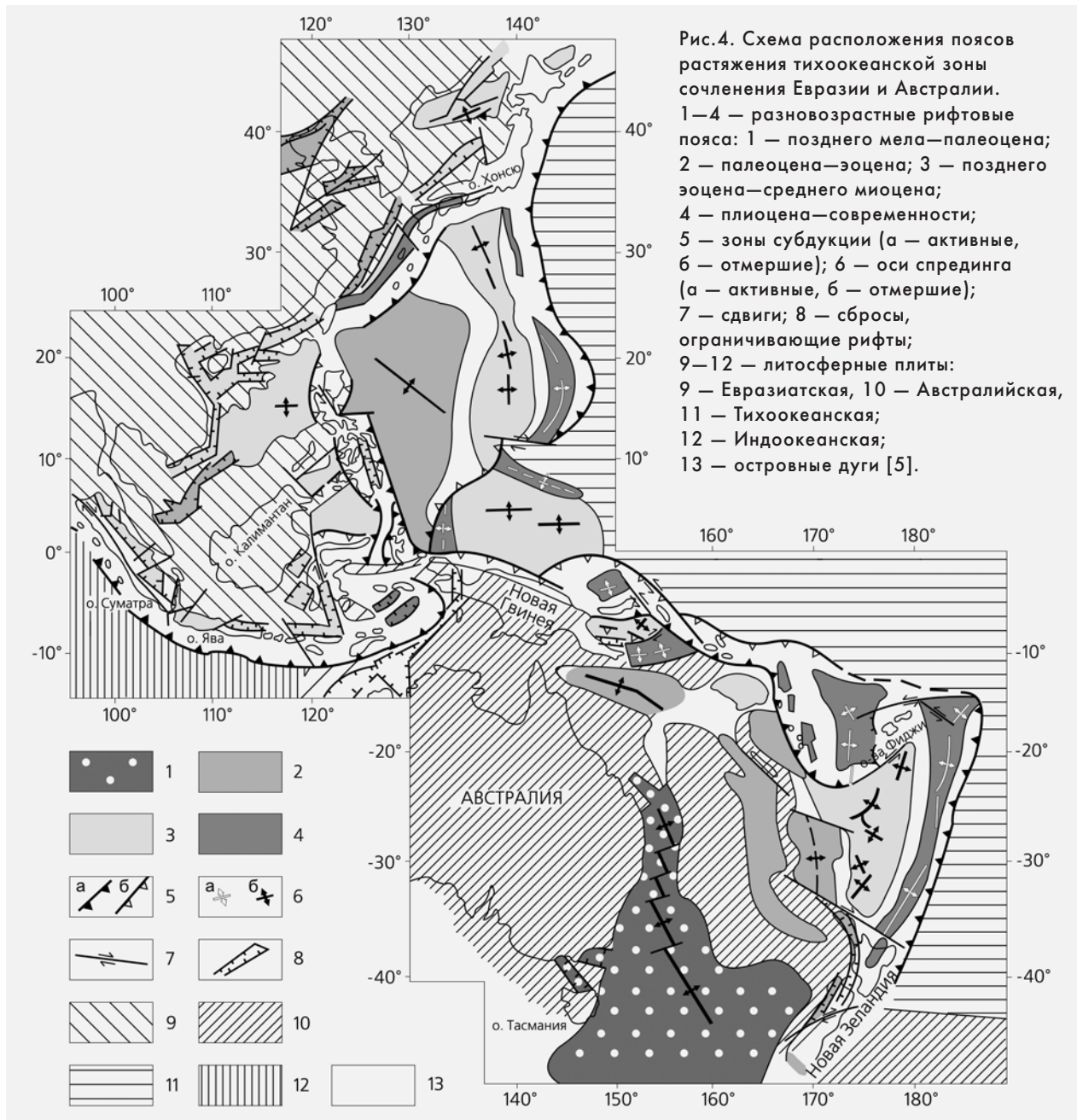


Рис.3. Развитие вихреобразной спрединговой системы котловины Тасманова—Эмералд (КТЭ). 1 — линия первоначального раскрытия, 2 — оси спрединга (а) и трансформные разломы (б), стрелкой указано направление продвижения; 3 — офиолитовый пояс хребта Дан, 4 — зона взросов, 5 — пояс сжатия, 6 — направление движения плато Челленджер относительно плато Кемпбелл, 7 — контуры о.Южный. На географической схеме штриховкой показано расположение исследуемого района [4, с изменениями].



30 и 15 млн лет назад образовались зоны взбросов в северной части котловины Тасманова—Эмералд, что указывает на продолжение процесса сжатия при закручивании вихреобразной структуры. Кроме того, сформировалась четко эшелонированная, кулисообразная зона спрединга, подчеркивающая присутствие сдвига при раскрытии бассейна. Впоследствии эта компонента стала преобладающей, что выразилось

в резком изменении направления трансформных разломов и появлении пояса сжатия в самой северной части раскрывающегося бассейна. Тенденция смены геодинамической обстановки продолжалась и в более позднее время. В результате в современную эпоху весь северный сегмент осевой зоны котловины представляет собой зону сжатия (рис.3).

«Малые» океаны в зоне сочленения формировались или

непосредственно в тыловой части островных дуг, или в местах их расщепления, или же на значительном удалении от областей субдукции. Однако их эволюции также свойственны структуры, связанные с вихреподобным закручиванием. Вместе с рифтами с утоненной континентальной земной корой они образуют четыре пояса растяжения (рис.4). Наиболее древний — поздне меловой—палеоценовый — располагается на

окраине Австралии. В следующем поясе максимальная активность процессов растяжения приходится на поздний палеоцен—эоцен, а в еще более молодом — на поздний эоцен—средний миоцен. Этот последний состоит из двух звеньев: западного (азиатского), где растяжению подверглась исключительно континентальная литосфера, и восточного (австрало-тихоокеанского), в котором преобладали процессы расщепления островных дуг и последующего новообразования океанской литосферы. Четвертый пояс включает в себя рифты, сохраняющие активность в настоящее время и протягивающиеся по восточной периферии переходной зоны. Их формирование началось около 5 млн лет назад. Как правило, они связаны с расщеплением вулканических островных дуг.

Можно констатировать, что и в области сближения литосферных плит, как это происходило и в Северной Атлантике (где доминирует раздвиг), четко прослеживаются тенденции пространственно-временной неустойчивости океаногенеза и вихреобразного раскрытия океанских бассейнов: как задуговых, так и окраинных.

Вихревые структуры океанской и континентальной литосферы

Посмотрим, насколько вихреобразование свойственно другим спрединговым бассейнам Мирового океана. Обратимся к палеогеодинамическим реконструкциям раскола единого праматерика Пангеи. Последовательный анализ возрастных срезов показывает, что развитие всех зон раздвиг включает продвижение оси раскола и одновременное ее закручивание. На начальной стадии фрагментации суперконтинента форму практически всех рифтовых трогов (несмотря на их различ-

ные размеры) можно аппроксимировать вихреобразными структурами. В дальнейшем их развитие происходит неравномерно во времени и в пространстве. Они могут продолжать эволюционировать (за счет раздвигания, его продвижения и закручивания). Они также могут прекращать свое развитие и отмирать. В этих случаях формируются спрединговые системы с ясно выраженным вихреобразным рисунком в плане. Их эволюция может быть осложнена возникновением и развитием новых вихревых структур, отличающихся от первоначальных размерами и направлением движения. Соответственно, их структурный рисунок оказывается более сложным.

Такая эволюция структурных форм наблюдается практически во всех достаточно хорошо изученных частях срединно-океанских хребтов, независимо от начальной обстановки их формирования (заложились они в результате разрыва континентальной или океанской литосферы). Наиболее яркие примеры океанских вихревых систем показаны на рис.5. Так, на гребне Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП), представляющего собой вихрь протяженностью свыше 7000 км, располагаются микроплиты Хуан Фернандес и Пасхи. Они обрамлены отчетливо выраженными вихреобразными спрединговыми зонами протяженностью 300—500 км. Их границы — псевдоразломы, возникшие при продвижении оси раздвигания. Перекрывающиеся оси спрединга в виде удлиненных невысоких возвышенностей протяженностью от нескольких километров до нескольких сотен километров на гребне ВТП также могут быть отнесены к вихревым образованиям, поскольку обнаруживают отчетливые признаки закручивания. Рифт Таджура вместе с зоной спрединга Аденского залива, Аравийско-Индийским и Центрально-Индийским срединно-океан-

скими хребтами представляет собой гигантский вихрь протяженностью около 8000 км, словно вторгшийся в глубь Африканского континента. Отчетливо проявлена тенденция к вихреобразному закручиванию Западно-Индийского срединно-океанского хребта вблизи тройного сочленения Родригес.

Подводя итоги, мы приходим к выводу, что ложе Мирового океана представляет собой совокупность разноранговых вихреобразных спрединговых систем, количественные характеристики которых меняются более чем на два порядка.

Континентальные вихреподобные структуры были открыты значительно раньше океанских, но долгое время не привлекали внимание исследователей. Морфология всех обнаруженных вихрей весьма сходна, а размеры в поперечнике колеблются от сотен до тысяч километров. В Средиземноморском складчатом поясе выделены три вихревые структуры, центры которых находятся в северо-западной части Италии, на западе Анатолийского п-ова и в его срединной части (рис.6). Структуры образованы наклонными разломами или «геошвами», разделяющими тектонические чешуи. Последние хорошо известны геологам и представляют собой участки земной коры, надвинутые друг на друга по наклонным поверхностям наподобие рыбной чешуи. Возникновение таких структур выглядит вполне закономерным именно в силу природы вихревого движения. Оно сопровождается сжатием в области закручивания вихря и надвиганием одного участка коры на другой. Этому также способствует различие в скоростях течения масс во внутренней и внешней частях вихревого потока.

В последнее десятилетие геологи активно изучают движение блоков земной коры, используя очень точные спутниковые наблюдения. Анализируя спутниковые данные, удалось весьма убе-

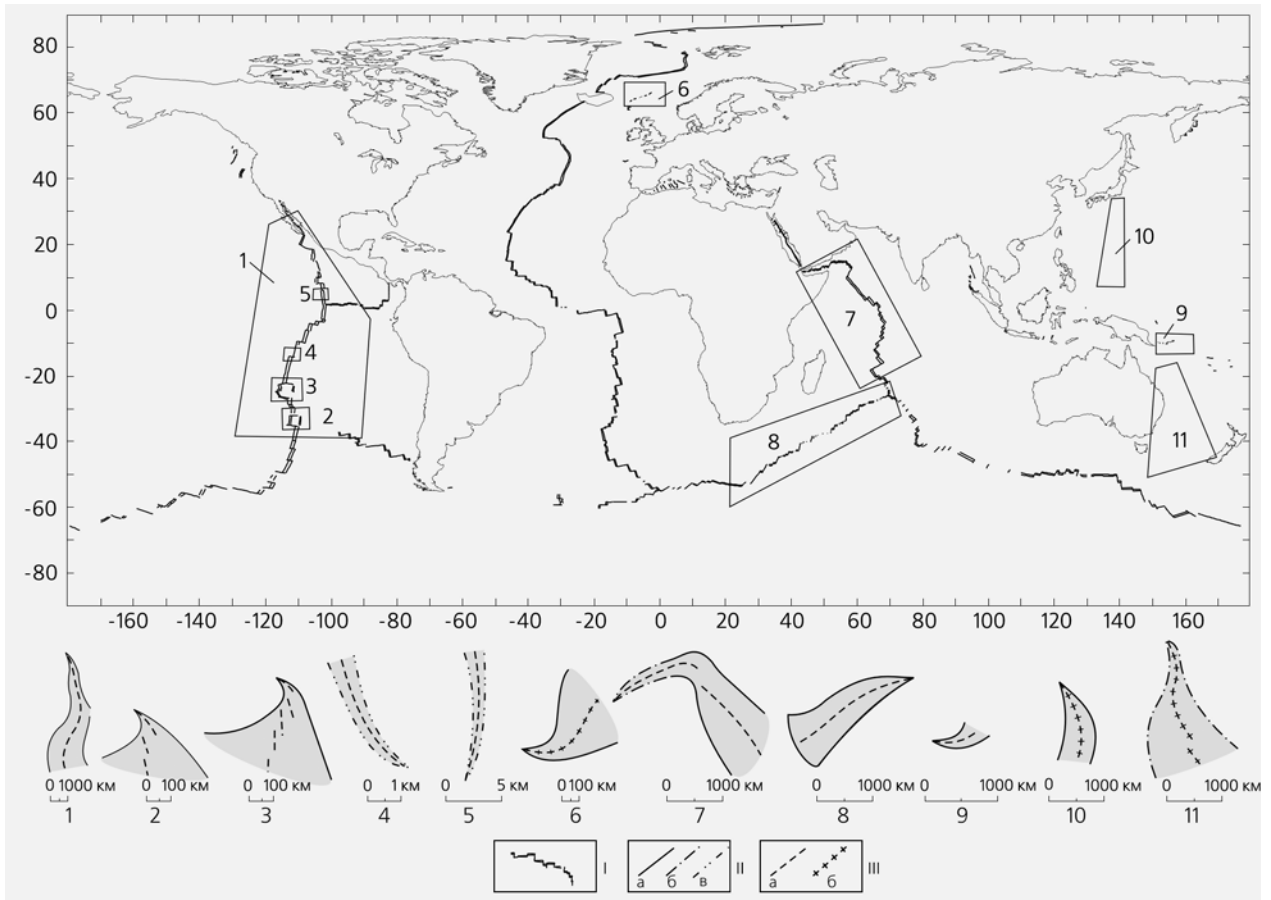
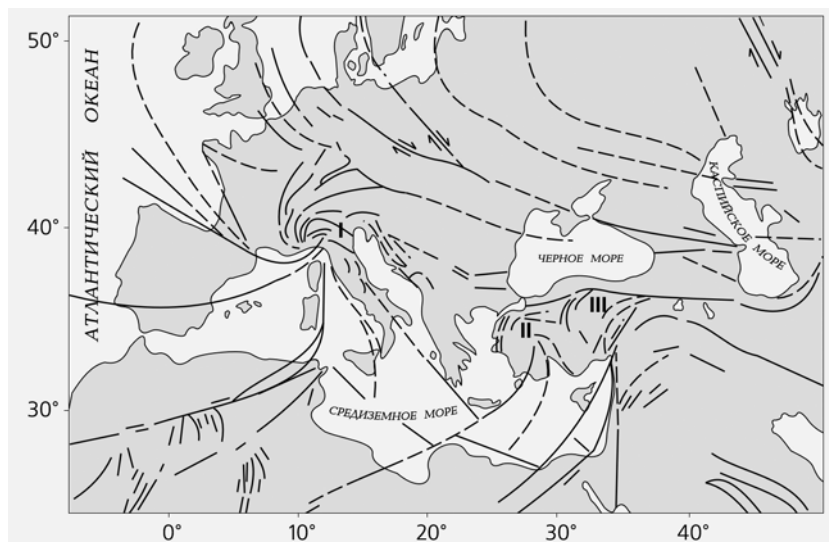


Рис.5. Вихревые системы в Мировом океане. 1 — Восточно-Тихоокеанское поднятие; 2—3 — зоны спрединга микроплит: 2 — Хуан Фернандес, 3 — Пасхи; 4—5 — ветви перекрывающихся осей спрединга на гребне ВТП: 4 — близ $12^{\circ}55'$ ю.ш., 5 — близ $5^{\circ}30'$ с.ш.; 6 — Норвежская котловина; 7 — рифт Таджики, Центрально-Индийский СОХ; 8 — Западно-Индийский СОХ; 9—10 — переходная зона от Тихого океана к Азиатскому континенту: 9 — Соломонова котловина, 10 — котловина Сикоку-Паресе Вела; 11 — Тасманово море. I — оси СОХ; II — ограничения вихревых систем: а — вдоль изохрон океанской коры и псевдоразломов, б — вдоль границы океан—континент, в — вдоль подножия осевых поднятий на гребне ВТП; III — оси спрединга: а — активного, б — отмершего [1].

Рис.6. Схема Средиземноморского и прилегающих регионов, показывающая три вихревые структуры в пределах альпийского орогенетического пояса. Они образованы разломами и «геошвами», разделяющими надвинутые друг на друга тектонические пластины — чешуи [6].



дительно показать, что перемещение Анатолийского блока сопровождается вихревым вращением масс в соседних районах, в частности в Эгейском море. Таким образом, на вихревой характер движений указывают не только структурно-геометрические данные, но и непосредственные измерения направления и скорости смещений отдельных блоков коры.

Близкие по форме и размерам вихреобразные структуры континентальной коры открыты к северу от оз. Байкал, на Камчатке, Чукотке и в других регионах Азии и Европы.

Слэбы — это фронты, а плюмы — это смерчи?

Примечательно, что основоположник современной теории мобилизма А. Вегенер по профессии был не геологом, а метеорологом. Вряд ли это было случайностью. Вероятно, он понимал, что существует определенное сходство в процессах, происходящих в воздушной и твердой оболочках Земли. Последуем его примеру и рассмотрим под несколько необычным углом зрения пластины относительно древней, холодной и тяжелой литосферы Тихого океана (их обычно называют английским термином «слэбы»). Они погружаются (субдуцируют) под относительно легкую и горячую литосферу Евразии, как это происходит в области сближения Тихоокеанской и Евразийской плит. Такого рода явление, по существу, можно считать аналогом теплового атмосферного фронта, в котором холодный и относительно тяжелый воздух «подныривает» (субдуцирует?!), под относительно легкий и теплый. Отметим, что взгляд на субдукцию как на своеобразный аналог атмосферного фронта не является абсолютно новым, и в геологической литературе такие сравнения уже проводились [7].

Именно с атмосферными фронтами связано возникновение вторичных вихрей. Как и развитие атмосферного фронта, субдукция — процесс неустойчивый, хотя, разумеется, речь идет о принципиально иных временных масштабах неустойчивости — миллионах и даже десятках миллионов лет. Но физическая суть процесса от этого не меняется: неустойчивость порождает вихри как в атмосфере, так и в той области мантии, где происходит сближение плит. Исходя из аналогии с атмосферными фронтами, формирование «малых» океанов (вихреобразных бассейнов в области сочленения океанской и континентальной плит) — результат неустойчивой динамики перемещения в зоне субдукции мантийных масс с различными физическими параметрами. Изменения в пространстве и во времени поясов растяжения коррелируют с изменениями направления в движении надвигающейся и погружающейся литосферных плит. Их взаимодействие, собственно, и обусловило развитие области сочленения и зоны субдукции.

Под сходным углом зрения рассмотрим возможный механизм формирования плюмов. Анализ кинематики литосферных плит показывает, что угловая скорость их вращения относительно невелика и редко превышает 0.2 град/млн лет. Однако есть небольшие плиты, вращающиеся с очень высокой скоростью. Это наводит на мысль, что их закручивает не просто вихрь, а какая-то еще более значительная сила — своего рода смерч в мантии. Чаще всего такие стремительно вращающиеся (разумеется, по геологическим меркам) плиты тяготеют к ослабленным, проницаемым зонам в коре и литосфере, где контактируют мантийные массы с различными физическими характеристиками, аналогично тому, как это наблюдается в зоне субдукции. В таких зонах наиболее вероятно возникновение

смерча. Последний словно вбирает в себя вещество, поднимая его с глубинных и более разогретых горизонтов вверх. Если подобный механизм действует в мантии, то под быстро вращающимися плитами следует ожидать наличие узкого столба горячего и разуплотненного вещества с низкими сейсмическими скоростями.

Именно такую картину мы наблюдаем в мантии двух типичных «горячих точек»: островов Исландии и Пасхи. Их возникновение, как принято считать, связано с восходящими мантийными потоками. Оба острова тяготеют к тектоническим узлам: Исландия расположена на пересечении оси спрединга Срединно-Атлантического хребта и зоны поперечных разломов, а о. Пасхи — неподалеку от тройного сочленения ВТП с Чилийским поднятием. Как в одном, так и в другом районах присутствуют микроплиты с очень высокими скоростями вращения. Ян-Майенская микроплита, расположенная к северу от Исландии, имела скорость вращения около 3 град/млн лет, а микроплита Пасхи вращается с еще большей скоростью — ~15 град/млн лет. В этих районах построено по три сейсмотомографических разреза, ориентированных в различных направлениях и характеризующих строение верхней и нижней мантии до глубин более 2000 км (рис. 7). Под Исландией обнаружен довольно узкий субвертикальный канал, простирающийся до границы с нижней мантией, в котором скорости сейсмических волн существенно понижены. Под о. Пасхи в среднем и нижнем горизонтах верхней мантии также имеется канал с пониженными скоростями (хотя и не столь четкий, как под Исландией). Дополнительным аргументом в пользу того, что данные каналы — не просто восходящие, но и интенсивно вращающиеся потоки разогретого мантийного вещества, является ярко вы-

раженная стратификация верхней мантии. В обоих районах в вертикальном разрезе отчетливо выделяются горизонты с различными скоростями сейсмических волн. Такие условия особенно благоприятны для формирования интенсивно закрученного вихря.

Справедлива ли подобная гипотеза для объяснения природы других «горячих точек», предстоит выяснить. Известно, что далеко не всегда им соответ-

ствуют в мантии зоны пониженных скоростей. Однако напомним, что смерч — относительно короткоживущее образование (разумеется, с учетом параметров среды, в которой он формируется). Имея в виду этот факт, можно предположить, что проявление зон пониженных скоростей в значительной степени зависит от стадии развития, на которой находится данный район внутриплитного вулканизма.

Фактор нелинейной среды в геодинамике

Создание и внедрение в практику методов сейсмомографии, спутниковой геодезии и геофизики, изотопной геохимии, экспериментальной минералогии и других передовых технологий стимулировали быстрое развитие нового научного направления в науках о Земле — глубинной геодинамики [8]. Несомненно, концепция

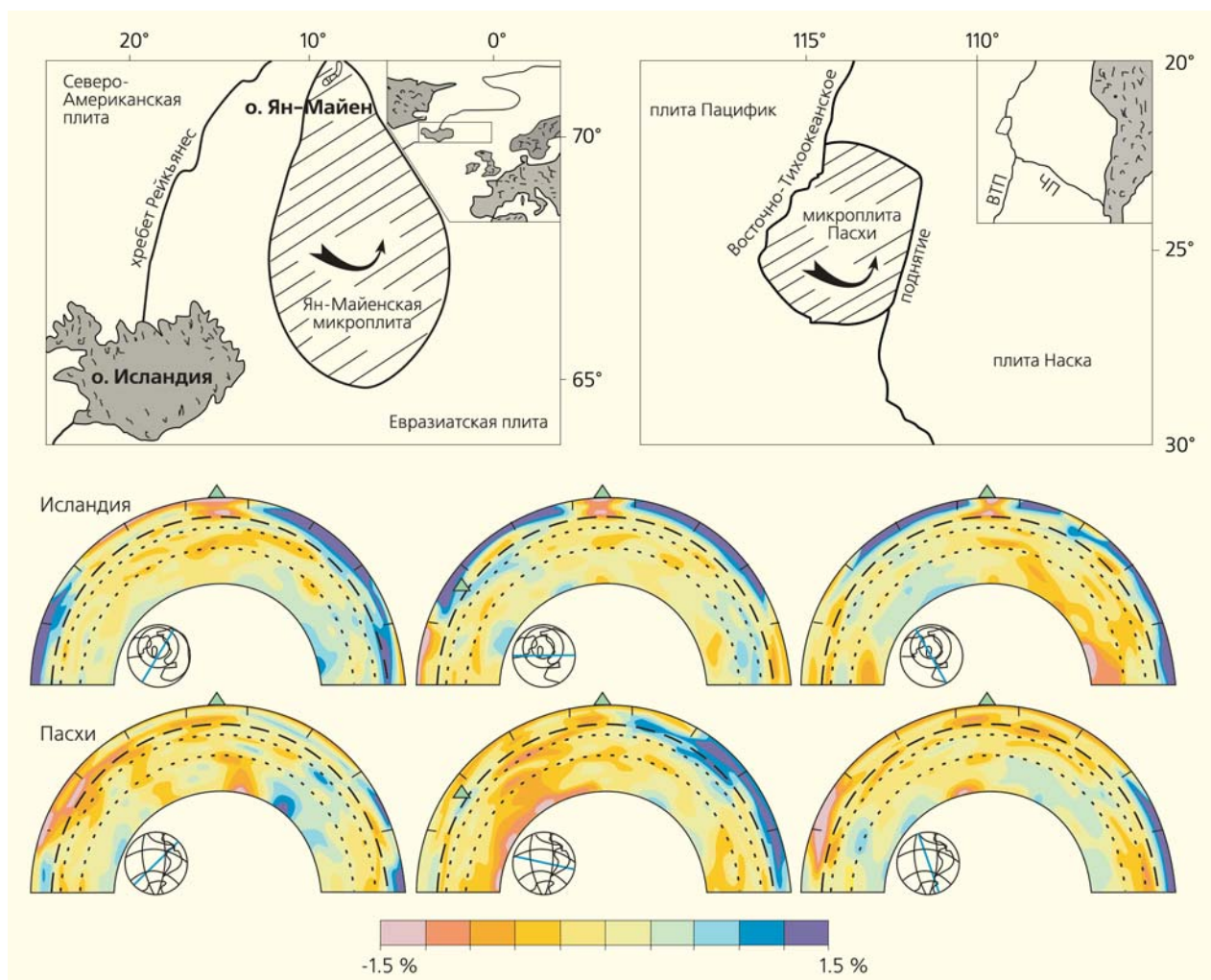


Рис.7. Микроплиты в Атлантическом и Тихом океанах, характеризующиеся высокой угловой скоростью вращения: Ян-Майенская микроплита — 3 град/млн лет (слева) и Пасхи — 15 град/млн лет (справа). Стрелки — направление их вращения. На врезках показано расположение микроплит (ВТП — Восточно-Тихоокеанское поднятие, ЧП — Чилийское поднятие). Возможно, высокие скорости обусловлены воздействием мантийных смерчей. Об этом свидетельствует наличие в мантии каналов, в которых скорости сейсмических волн существенно понижены. Каналы видны на сейсмомографических разрезах, показанных внизу [9]. Оттенки синего цвета — повышенные (относительно средних, в %) скорости распространения сейсмических волн, красного цвета — пониженные. Пунктирные линии на разрезах: утолщенная — граница на глубине 670 км, тонкие — глубины соответственно 1000 и 1700 км.

нелинейности геолого-геофизической среды станет одним из стержней этого направления. Много предстоит сделать, преодолев как объективные трудности (резкое усложнение аппарата описания глубинных процессов), так и субъективные препятствия психологического свойства (приверженность к традиционным моделям). Последнее обстоятельство ранее других поняли геофизики, предмет исследования которых — сама геолого-геофизическая среда [2]. Тем не менее совершенно очевидно, что переход к новым представлениям неизбежен, и он вполне назрел.

Можно с уверенностью предполагать, что придется пересмотреть ряд представлений о природе и формах мантийной конвекции. Для объяснения причин движения литосферных плит обычно прибегают к такому сравнению: плиты подобны льдинам на реке, увлекаемым течением. Они перемещаются поступательно, вращаются, если в течении существует водоворот, наплывают друг на друга или раздвигаются — в общем, ведут себя в соответствии со структурой водного потока. В свете рассмотренных выше данных о пространственно-временной неустойчивости формирования океанских бассейнов и вихревых структурах литосферы такой образ представляется вполне оправданным. Мантия Земли, так же, как и другие ее оболочки (водная и воздушная), характеризуется раз-

нообразием движений — поступательных, вихревых, возможно, еще и других типов. И это главный вывод, который следует из рассмотрения ее как нелинейной открытой системы. Разумеется, эти движения несравнимо более медленные, чем во внешних оболочках, но их природа сходна. Таким образом, на вопрос, поставленный в заголовке статьи о возможности существования в твердых оболочках Земли вихрей и смерчей, можно с уверенностью ответить: да, они существуют. Большинство имеющихся на сегодняшний день моделей мантийной конвекции (тепловая, термохимическая, химико-плотностная и др.) не учитывают такого многообразия. Однако использование новых представлений о свойствах среды открывает дополнительные перспективы совершенствования таких моделей.

Разнообразие движений в мантии Земли снимает проблему взаимоотношения между мантийными потоками, ответственными за кинематику плит, и восходящими плюмами, с которыми связано возникновение «горячих точек» в литосфере. Долгое время они казались несовместимыми — вплоть до того, что были сформулированы самостоятельные концепции тектоники плит и тектоники плюмов. С позиции же нелинейности среды никакого противоречия нет, ибо и поступательные, и вихревые движения принадлежат единой структуре мантийной конвекции.

Чрезвычайно большие различия в размерах вихревых структур свидетельствуют о том, что при едином физическом механизме природа вихревых движений связана с динамикой существенно различных по глубине внутренних оболочек Земли. Вихри глобального масштаба (размером многие тысячи километров) могут быть обусловлены ротационным фактором. Оболочки планеты имеют различную вязкость и другие физические характеристики, они вращаются вокруг центральной оси с различной скоростью, как бы проскальзывают одна относительно другой (дифференциальное вращение оболочек). Так, дифференциальное вращение мантии и литосферы по существу эквивалентно течению мантии в восточном направлении [8]. Очевидно, что это течение неустойчиво, прежде всего из-за блуждания полюсов (смещения оси вращения планеты). Данный фактор, по всей вероятности, и вызывает вихреобразное закручивание разнопорядковых зон раздвига при распаде мегаконтинента, а также возникновение наиболее крупных вихревых структур континентальной литосферы.

Наконец, отметим, что вихревые структуры, кроме Мирового океана и атмосферы, известны в макромире (галактики, имеющие форму вихря) и микромире (закрученные в виде вихря молекулы). Теперь настало время активного изучения таких структур в коре, мантии, и, возможно, в еще более глубоких недрах нашей планеты. ■

Литература

1. Мирлин Е.Г., Кононов М.В., Суцневская Н.М. // Докл. РАН. 2005. Т.401. №34. С.1—4.
2. Проблемы геофизики XXI века. М., 2003.
3. Пуцаровский Ю.М. // Геотектоника. 2003. №4. С.3—13.
4. Lebran J.-F., Lamarch G., Collot J.-Y. // J. of Geophysical Research. 2003. V.108. №B9. P.ETG 15-1—15-8.
5. Мирлин Е.Г., Зорина Ю.Г. // Геотектоника. 1992. №1. С.21—33.
6. Neev D., Hall J.K. Mantle-produced counterclockwise vortices along the northern Mediterranean belt (A genetic hypothesis for the Alpine systems) // Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univ. Hamburg, 1984. V.56. P.111—127.
7. Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский, 2004.
8. Хаин В.Е. Современная геодинамика: достижения и проблемы // Природа. 2002. №1. С.1—23.
9. Ritsema J., Allen R.M. // Earth and Planetary Sci. Letters. 2003. V.207. P.1—12.

Он сердце оставил в валдайских лесах



Михаил Васильевич Глазов
(26.10.1947–10.08.2005).

Прошло полгода после поразившей нас всех гибели ученого, натуралиста и фотохудожника Михаила Васильевича Глазова – 10 августа 2005 г. он вышел в научный маршрут из своего дома в дер.Новотроицы на Валдае, и больше живым его не видели. Кандидат географических наук М.В.Глазов занимал должность старшего научного сотрудника в Институте географии РАН и никогда не был начальником, он не успел защитить докторскую диссертацию, хотя собранного им материала вполне для этого хватало. Но несмотря на отсутствие официальных регалий, Михаил Васильевич – один из тех, кого будут помнить не только семья и коллеги по основной работе. Говорят, хороший человек – это еще не профессия, но какое добавление к профессии! В нашей редакции Глазов впервые появился более десятка лет назад – требовались иллюстрации к статье о Валдае, и сразу стал своим – другом, автором статей (их темы арктические: архипелаг Шпицберген, о.Вайгач) и, еще чаще, фотографий. Помогал по первому звонку – в его архиве почти всегда находились кадры для самых разных материалов. География его экспедиций и путешествий (всегда с фотоаппаратом) часто совпадала с интересами нашего журнала. В Государственном биологическом музее им.К.А.Тимирязева, что на Малой Грузинской улице, и в Институте географии РАН пройдут выставки замечательных работ Михаила Васильевича – их смогут увидеть многие. Представленные здесь фотографии – лишь малая толика его обширного наследия. Надеемся, что несмотря на скромные технические возможности передачи цветového изображения нашего издания, читатели смогут оценить искусство настоящего мастера. О Михаиле Васильевиче Глазове – человеке и ученом – рассказывает его друг и коллега, заведующий лабораторией биогеографии ИГ РАН, профессор Аркадий Александрович Тишков.

Памяти М.В.Глазова

А.А.Тишков,
доктор географических наук
Институт географии РАН
Москва

*«Не говори с тоской: их нет,
Но с благодарностью: были».*

В.А.Жуковский

Мы его долго искали... Надеялись на чудо. Но чуда не произошло. Михаила Васильевича Глазова нашли ровно спустя месяц после исчезновения. Медэкспертиза говорит, что, по-видимому, не выдержало сердце. Возвращался из в общем недалекого маршрута на территории Валдайского национального парка, и тут его подстерег недуг. Никого не оказалось рядом, чтобы помочь. Мы потеряли друга. Теперь уж не услышишь его заразительного смеха, завораживающих рассказов о близких и дальних краях, удивительных приключениях, переживаниях. Не появится и новых фотографий, на которых не только игра света и талантливая композиция, но и выхваченный на миг из подвижной картины природы научный факт.

Для меня, человека, близко знавшего Глазова и называвшего его, как и многие другие, просто Миша, писать о нем в прошедшем времени мучительно трудно. Им было немало сделано, но сколько планов осталось неосуществленными! Многие касались близкого его сердцу Валдая.

Название это собирательное. Это и город в Новгородской обл., и знаменитое озеро, но, пожалуй, самый значимый географический объект — возвышенность в северо-западной части европейской части России, Великий водораздел между верховьями Волги, Западной Двины и некоторых других рек. Немаловажную роль в истории развития природы сыграло и валдайское оледенение, покрывавшее Восточно-Европейскую

равнину. В нескольких километрах от акватории оз.Валдай, в настоящих таежных лесах, на берегу быстрой речки Валдайки, в 70-е годы начал работать Валдайский стационар Института географии — главное научное детище Михаила.

Два года назад, обсуждая с ним еще не вышедшую, но уже смакетированную его книгу «Роль животных в экосистемах еловых лесов» (М., 2004), завершающую первый этап 30-летних работ на Валдайском стационаре, мы говорили о том, что пришла пора проследить тысячелетнюю динамику природы Великого водораздела, подвести итоги изучения здешних болот, современных восстановительных процессов в лесах, старт которым дало создание Валдайского национального парка. Словом, собранного Михаилом и его коллегами материала хватило бы на несколько книг. А начиналось все в Москве, в кружке для ребят, интересующихся биологией при Всероссийском обществе охраны природы (ВООП) — его так обычно и называли: ВООП. Все мы родом из детства, но очень многие сегодняшние именитые биологи и географы — еще и из старых московских биологических кружков.

От ВООПа до Валдая

Михаил Глазов родился 26 октября 1947 г. в дружной семье, которая жила на Покровке, в небольшой комнате полуподвальной коммунальной квартиры, учился в школе №661. Но с 1960 г. ВООП, пожалуй, значил для Михаила больше, чем общеобразовательная школа. Руково-

дил кружком ППС — Петр Петрович Смолин (1897—1975) — замечательный биолог-орнитолог, зоогеограф и педагог. Его основными принципами в воспитании будущих естествоиспытателей была опора на наблюдения в природе, исследовательский подход и общественное звучание. Занятия в кружке могли все. Занятия посещали и третьеклассники, и кандидаты наук. Они велись до шести раз в неделю: лекции, выезды на природу, работа с коллекциями музеев, летние экспедиции. Летом полагалось работать при профессионалах (часто бывших учениках ППСа) в заповедниках, экспедициях, осенью — сдавать отчет. Всем этим увлеченно занимался и Миша Глазов с 1960 г. Как многие вооповцы, в 9-м классе он перешел в школу №710 в класс с биологическим уклоном.

Небольшого роста, отличный друг, надежный в полевых условиях, — таким подростком он запомнился старым вооповцам и автору статьи. Уже в юношеские годы его отличали черты пытливого натуралиста, зоолога-полевика и фотохудожника. Последнему немало способствовали родители — мама Галина Дмитриевна, которая была хорошим художником-любителем, и отец Василий Михайлович, профессиональный фотограф. В эти же годы начались и первые экспедиции Михаила, продолжавшиеся более 40 лет и охватившие в итоге районы от арктических островов Шпицберген до тропических лесов Камбоджи. Случилось так, что после школы он уехал из Москвы и поступил в Белгородский педагогический институт. Там

проучился до 1968 г. и перевелся на биолого-почвенный факультет МГУ, который окончил в 1972 г. В этом же году Михаил начал работать в Институте географии, где в лаборатории биогеографии прошел путь от стажера-исследователя до авторитетного ученого-зоогеографа и эколога.

Наша лаборатория была организована в 1945 г. выдающимся ученым А.Н.Формозовым, а в начале 70-х, когда туда пришел Миша, в ней работали многие видные биологи и экологи — А.Н.Формозов, С.В.Кириков, А.А.Насимович, Ю.А.Исаков и др. Поскольку за плечами у Михаила были экспедиции в разные уголки Советского Союза, а также опыт организации комплексных экологических исследований в дубравах Белгородской обл. еще в студенческие годы, в лаборатории Глазов сразу почувствовал себя скорее не учеником, а коллегой и единомышленником. «Старики» приняли его хорошо, помогали, доверяли. Дело в том, что Михаил выбрал предметом исследований роль животных в функционировании зональных экосистем, и это нашло понимание среди сотрудников лаборатории.

Именно тогда, в начале 70-х годов XX в., после серии всесоюзных конференций, посвященных средообразующей роли животных, в лаборатории начало складываться новое направление исследований — география экосистем. Суть его такова: в традиционную биогеографию были привнесены экологические аспекты, сделана попытка рассмотреть географические закономерности средообразующей роли животных, провести сравнительно-географический анализ экологических форм животных, их адаптации к условиям среды, взаимодействия с растительностью и почвой. В итоге советская, а затем и российская биогеография на протяжении многих лет оставалась наиболее «экологизированной» в мире, легко



Семья Глазовых на ВДНХ (начало 50-х годов).

восприняла концепцию экосистемы английского ученого А.Тенсли (1937), который считал, что экосистема — основная природная единица функционального деления поверхности Земли — включает, кроме комплекса организмов, и весь комплекс физических и химических факторов среды обитания. Биогеография оставалась лидером по некоторым направлениям исследований — например, по «зимней экологии», изучению роли животных в биологическом круговороте зональных экосистем и пр.

Несомненно, работы по географии средообразующей роли животных и географии экосистем, развиваемые в 60—70-х го-

дах XX в. в нашей лаборатории уже под руководством Ю.А.Исакова на Валдайском и Курском стационарах, а также в пустынях Средней Азии, горах Кавказа, можно считать пионерными.

Поскольку Курский стационар был «старше» Валдайского, естественным было перенять у него практиковавшиеся в Центрально-Черноземном заповеднике, на базе которого работал Курский стационар, подходы и методы. Однако на Валдае, где Глазов начал работать с 1973 г., чтобы получить сопоставимые данные для сравнительной оценки средообразующей роли животных, было решено пойти дальше — привнести динамический аспект в исследования, зало-



В одной из первых экспедиций, 70-е годы.

жив серию пробных площадей, отражающих многообразие еловых лесов, и наладить конструктивное сотрудничество со всеми научными коллективами, работающими здесь. Это были почвоведы и геохимики МГУ, зоологи Института проблем экологии и эволюции, гидрологи Валдайского филиала Гидрологического института. Удалось сравнительно быстро начать полевые исследования, укрепить стационар и организовать систематические наблюдения, центральным звеном которых стало изучение роли гетеротрофных организмов в функционировании и динамике еловых лесов.

Работы на стационаре не копировали общепринятую «Программу и методы биогеоценотических исследований» применительно к таежным экосистемам. Они, скорее, дополняли ее, выбирая такие направления, по которым ранее практически не было ничего сделано. Так, детальнейшим образом, строго дифференцированно, была проведена оценка воздействия фитофагов на вегетативные и генеративные органы ели. При этом нами были разработаны совершенно новые подходы и методы изучения прироста и его пов-

реждений, проведены измерения тысяч хвоинок, побегов, ветвей разного уровня и разной экспозиции, прямые замеры потерь фитомассы от воздействия хвоегрызущих и хвоесосущих насекомых. Впервые в отечественной полевой экологии на стационаре прошли эксперименты по оценке влияния искусственного отчуждения фитомассы на ели европейской. Оригинальными методами проводились также учеты беспозвоночных в кронах ели и в почвах, оценки сезонных потерь органического вещества подстилки в условиях изоляции от мезофауны и пр. Результаты валдайского цикла изучения воздействия животных на ретропродукционный цикл ели оказались новыми для науки: удалось проследить зоогенные потери на всех его стадиях — от закладки генеративных почек до созревания семян в шишках, их опадания на землю, сбора птицами и грызунами, формирования всходов и их гибели в первые годы жизни. И таких «семенных лет» на почти 20 лет деятельности стационара было пять.

Все это позволило получить столь интересные и важные для понимания роли животных в жизни тайги результаты, что они сравнительно быстро изменили представление о тайге как о чисто «детритном» типе зональных экосистем. Заслуга Глазова была здесь не столько организационная (хотя и это немаловажный факт), сколько методологическая. Недостаточно было традиционными методами оценить, например, роль разных групп животных-фитофагов, кормящихся на ели в годы с высоким и низким уровнем осадков: нужно обязательно проследить всю цепочку изменений в экосистеме, придумать и апробировать новый метод, получить результат, например оценить пролонгированное действие засух на экосистему ельника, когда на годы из почв пропадает такой важный компонент, как дождевой червь.

Уже через 10 лет об исследованиях Валдайского стационара заговорили как о заметном явлении в отечественной экологии, биогеографии и биогеоценологии. Ни одно совещание не проходило без докладов, подготовленных на валдайских материалах исследований на стационаре. Наши (М.В.Глазова, Н.В.Чернышева и автора этих строк) публикации позволили понять тонкие механизмы средообразующей роли животных в хвойных лесах. В некоторой степени признанием этих работ стало проведение на базе Валдайского стационара в 1985 г. Всесоюзного совещания «Растительноядные животные в биогеоценозах суши», организованного Научным советом АН СССР по проблемам биогеоценологии.

К началу 90-х годов школу стационара прошли уже несколько десятков молодых специалистов, которые распространяли идеи комплексного изучения средообразующей роли животных в лесных экосистемах, владели методологией исследований и, главное, не забывали, что они прежде всего натуралисты и наука ждет от них не формального счета и анализа, а наблюдений за природой, выявления закономерностей, объяснения причин и механизмов взаимодействия организмов. Именно так их учили на стационаре. Что касается жизни на стационаре, то здесь царила дружественная и творческая атмосфера. Приветствовалось рождение новых идей. Эта свобода научного поиска притягивала молодежь.

Спустя десятилетие после завершения активных работ на Валдае Михаил Васильевич подготовил уже упомянутую книгу о роли животных в функционировании экосистем тайги. Мы надеялись, что эта монография подводит итоги первого этапа стационарных исследований, проводимых нашей лабораторией на Валдае. Очень правильно, что она была сосредоточена на конкретной проблеме — ро-

ли животных в биологическом круговороте еловых лесов. Этого звена до сих пор не хватает для того, чтобы представить полную картину функционирования таких экосистем. В условиях южной тайги Валдая они отличаются исключительно высокой продуктивностью, определяемой природными факторами — богатой мореной и высоким количеством осадков. Глазов последовательно рассматривает в своей книге особенности формирования первичной продукции, далее — биомассы позвоночных и беспозвоночных животных, а затем — воздействие животных на первичную продукцию и их непосредственное участие в биологическом круговороте ельников Валдая. Вывод о том, что в пределах одного типа экосистемы в одном биогеографическом регионе роль животных в функционировании экосистемы может меняться коренным образом, сам по себе уникален и требует историко-биогеографической интерпретации. Например, в ельниках с участием лесных травянистых растений деструкторы (грибы, микроорганизмы, мезо- и микрофауна) разрушают лес в 2–2,5 раза интенсивнее, чем в ельниках северного типа — зеленомошниках.

Книга восполнила некоторый дефицит подобных публикаций, ощущаемый в последнее десятилетие, когда резко сократились и полевые, и стационарные исследования. Более того, многие выявленные Глазовым закономерности еще послужат для широкой экстраполяции результатов на сравнительно большую территорию экосистем южной тайги и хвойно-широколиственных лесов. В то же время имеется необходимость в повторении экспериментов и полевых замеров на старых пробных площадях для уточнения структуры, механизмов функционирования и динамики экосистем еловых лесов Валдая. С 1990 г. здесь преобладает режим национального парка, ко-

торый позволяет исключить хозяйственное вмешательство в развитие экосистем.

Путешественник и художник

В последние два десятилетия Михаил Васильевич побывал с научными экспедициями на Камчатке, Курильских о-вах, юге Дальнего Востока, на Байкале, Алтае, в Туве, Оренбургских степях. Отовсюду он привозил сотни снимков и фильмы, которые сразу становились событием для научной общественности. Удалось ему посетить и некоторые страны Юго-Восточной Азии, где он снял замечательный фильм о судьбе редких видов, показанный на центральном телевидении. Но, пожалуй, самым притягательным (кроме Валдая, конечно) для Михаила в последние годы стал Север.

Летом 1994 г. он участвовал в знаменитой трансарктической российско-шведской экспедиции на научно-исследовательском судне «Академик Федоров», прошедшей за один полевой сезон по всему Северному морскому пути. Прошел и заболел Арктикой, собрал уникальный материал по роли животных в миграции загрязняющих веществ. Незадолго до своей последней поездки на Валдай он говорил со мной о новой книге, в которой мигрирующие птицы и северные олени представят еще и в качестве агентов межэкосистемного обмена органическими и неорганическими загрязнителями. Расчеты показывают, что в мелкие пресные водоемы Арктики гуси, казарки, утки и кулики приносят с зимовок в Западной Европе, Северной Африке, Китае и других регионах мира тонны токсичных веществ, которые включаются в местный биологический круговорот и накапливаются в следующих трофических звеньях экосистемы, в том числе и в организмах коренных жителей Севера.

В середине 90-х годов вместе с почвоведом С.В.Горячкиным он начал исследования в Пинежском заповеднике, а позже экспедиционные поездки стали охватывать и еще более северные регионы Архангельской обл. и Ненецкого автономного округа. Здесь он снял несколько своих документальных фильмов о природе и жизни коренных народов Севера. А еще из каждой экспедиции он привозил десятки снятых фотопленок — своего рода фотоотчет о проделанной работе. Так сложился уникальный архив, зафиксировавший состояние природы нашей страны на рубеже веков. Вместе с публикациями М.В.Глазова он составляет наследие, которое требует и обработки, и инвентаризации. Главное, чтобы все это богатство стало доступным всем интересующимся. Надеюсь, что наша публикация будет одним из первых шагов к этому.

Откуда берутся фотохудожники? Один пройдет и не обратит внимание, что на лугу с наступлением холодных утренников стало больше паутинок, что у мартовского снега — десяток оттенков, а в сыром ельнике-зеленомошнике возникает эдакая обволакивающая замкнутость, скрадывающая не только шаги, но и перспективу. Тысячи фотографий сделал Глазов за свою, по нашим меркам, короткую творческую жизнь — от самых первых, снятых под присмотром отца, до тех, что украсили страницы гляцевых журналов, научных и популярных энциклопедий, книг о природе Москвы.

Часто, находясь совсем рядом в момент съемки, я наблюдал ту щепетильность, а в некоторых случаях — просто сверхтребовательность к объекту съемки. Просто красивое его не устраивало. Не привлекала и сухая научная съемка, фиксирующая факт или иллюстрирующая подмеченное явление. Он добивался сочетания почти несочетаемого — эстетизма природно-



Вид на оз.Ужин со стороны дер.Новотроицы зимой и летом.

Здесь и далее фото М.В.Глазова



Травяная лягушка в брачный период (весной).

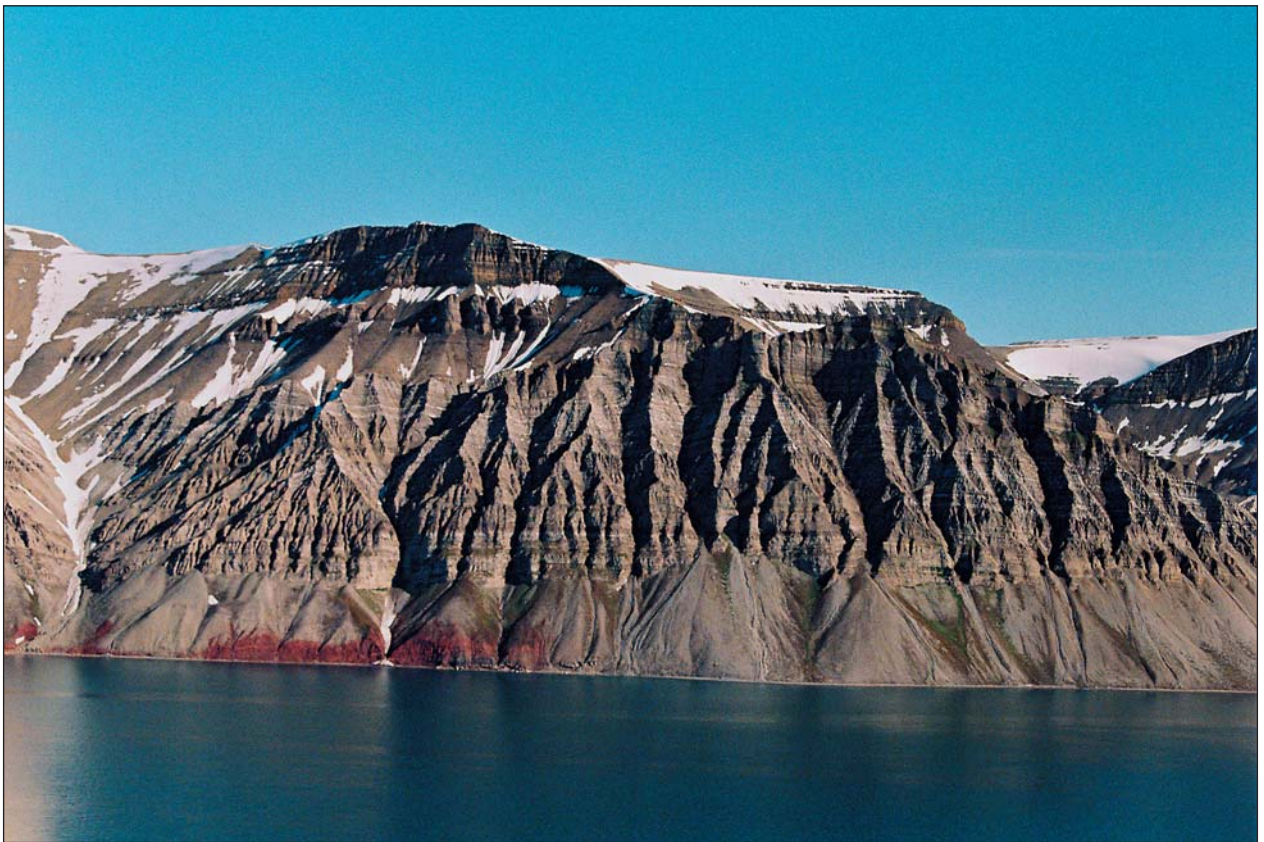


Роснянки на верховом болоте (Валдай).

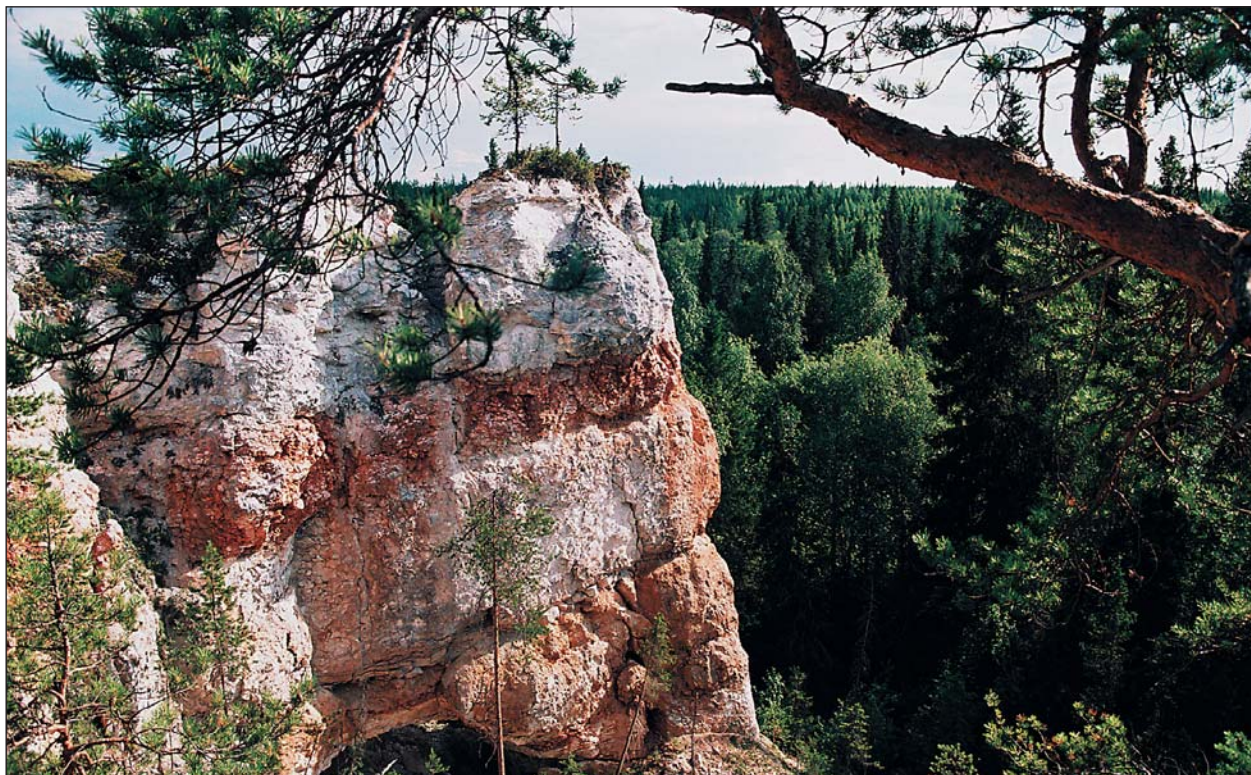
Биогеография в сборе



Ловозеро на Кольском п-ове.



Шпицберген.



В Пинежском заповеднике.



Ковыльная степь. Калмыкия.



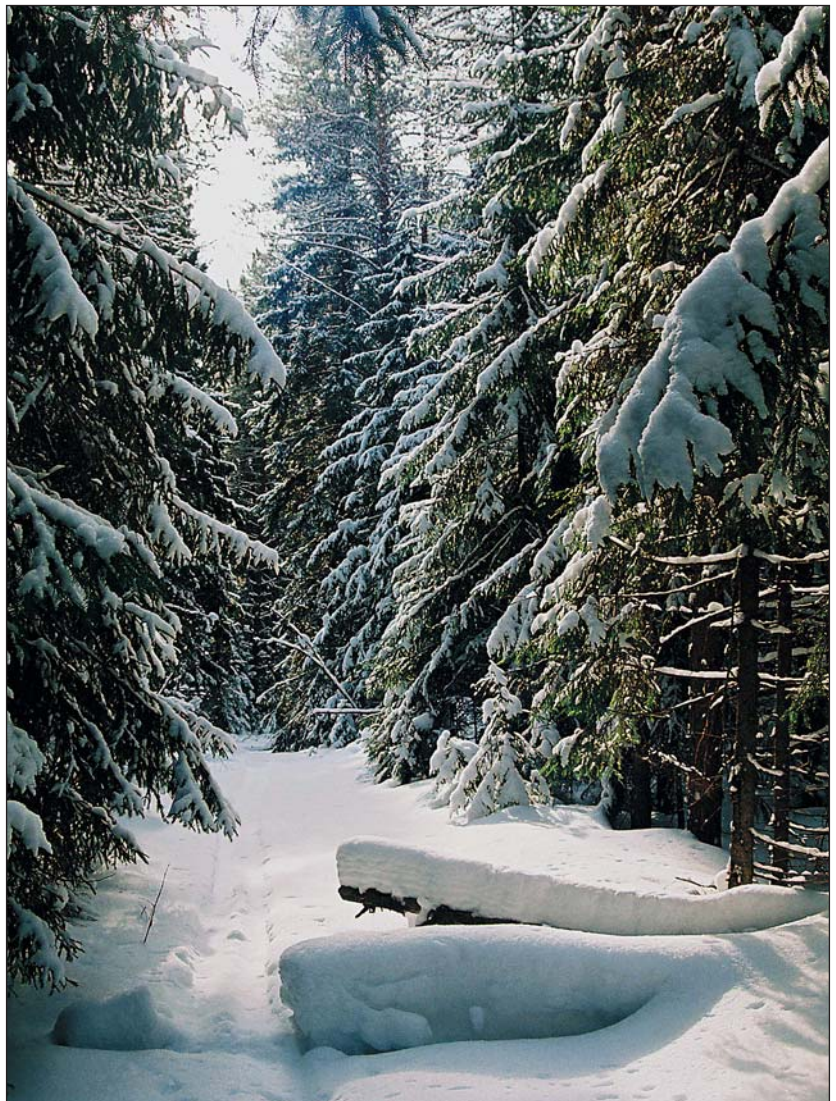
Заснеженные стога под Валдаем («иглу»).

Таежный участок Валдайского национального парка.

го объекта и его научной информативности.

Помню, как долго и несколько сбивчиво замечательный художник-анималист В.М.Смирин говорил о невозможности точного фотографического запечатления двигающегося животного — только взмах карандаша вслед за убегающим зверем и память рисовальщика. Помню и поразившую меня разницу двух способов иллюстрации следов деятельности животных — с одной стороны, блеклые черно-белые фотографии погрызов, поврежденных плодов и семян, заготовок белок, пищух и полевок, а с другой — штриховые рисунки А.Н.Формозова по этим же сюжетам. Именно этого всю жизнь в фотографии добивался Глазов. Подмечая в природе открытое взору и спрятанное от равнодушного взгляда, в отдельных своих работах он добился настоящих высот.

Листая популярные журналы, энциклопедии, красочные издания с многочисленными фотографиями Глазова, не устаешь удивляться тому, скольким людям он доставил радость открытия природы, уникальную возможность путешествия с книгой в руках, когда иллюстрация становится неотъемлемой частью



текста, описания природы, ее феномена!

Он снимал тундру вдоль всего Северного морского пути (кто там работал, знает, как нефотогенична бескрайняя и однообразная, холодная и безлесная равнина), и снял так, что трудно поверить в краткость его пребывания в этих местах. Будто бы жил там долго, выбирая в размеренной жизни Арктики мгновения для своих незабываемых снимков.

Он снимал тайгу, хвойные леса изнутри. Обычно однообразные темно-зеленые кулисы и серые вертикали стволов не радуют глаз и тем более не несут смысловой нагрузки. На фотографиях Глазова валдайские, пинежские, костромские и Кировские ельники превращаются в своего рода «храмы жизни» с буйством оттенков зеленого и всем многообразием оттенков красок стволов — от малинового, розового, желтого и золотого до темно-бурого.

Ему удавалось невозможное, когда он снимал *степи и пустыни*. Здесь и глаз-то остановиться не на чем. Но на фотографиях Михаила вдруг четко видишь и каждую травинку, и горизонт, который так влечет русского человека в бескрайние просторы. Он очень любил пустыню и часто, работая в лесу, вспоминал эпизоды съемки в песках Каракумов. А побывав несколько лет назад в Оренбуржье и в Туве, где снимал древние культовые места тувинцев, заболел степями.

* * *

След Михаила Глазова на Земле... Трудно выделить главное. Нет, пожалуй, главный след — его сыновья Дмитрий и Петр, которых они вместе с женой Ольгой Александровной вырастили и которым дали путевку в жизнь. Их деятельность тоже связана с изучением природы. А еще внук и три внучки. Достойное продолжение.

На прошедшую в 2005 г. презентацию его книги пришло около 100 человек. Многие из них прошли в 70—90-х годах школу Валдайского научного стационара. Это была встреча друзей, благодарных за бесценный опыт, который они получили, работая бок о бок с Михаилом.

Много лет он занимался очень кропотливой работой — подготовкой карт ареалов животных (исторических и современных) по материкам для Атласа мира (изданный в США, он, к сожалению, не имеет печатной версии в России). И в планах ближайших лет у Михаила были работы над этими картами для нашего читателя и зоогеографическими разделами других атласов.

Он готовил книгу по роли животных в миграции загрязняющих веществ в арктических экосистемах, стал одним из лидеров северной тематики в лаборатории биогеографии, с развитием которой связывал перспективы своего роста и защиты докторской диссертации. Наступающий Международный полярный год он собирался встретить вместе со своими коллегами по арктическим экспедициям где-нибудь на островах Ледовитого океана.

Очень много сил и знаний М.В.Глазов отдавал популяризации науки. Еще в школьные и студенческие годы он выпустил свои первые диафильмы, его фотографии и заметки о животных публиковались в разных журналах и популярных изданиях. Всем запомнились и его северные фотографии в «Огоньке», и фоторепортажи в центральных газетах. Последнее десятилетие он в качестве автора отдельных статей и фотографий участвовал в подготовке более десятка популярных энциклопедий для детей, а также ряда красочных справочных изданий о природе Москвы. Михаил Васильевич был связан с многими

естественнонаучными музеями нашего города, долгие годы входил в состав ученого совета Дарвиновского музея. Где бы он ни работал, с каким бы изданием и учреждением ни сотрудничал, везде вокруг него создавался круг дружеского общения. Удивительное качество — талант объединять вокруг себя людей — отличало Глазова всю его жизнь.

Еще в далекие 70-е годы Михаил Васильевич встал на защиту природы Валдая, помогал бороться против загрязнения Валдайского озера, выступал против рубки валдайских лесов в конце 80-х годов, стоял у истоков создания Валдайского национального парка, активно боролся против нарушений охраны природы при строительстве дороги Угловка — Долгие Бороды через национальный парк.

10 августа 2005 г. он вышел в последний научный маршрут из своего дома в дер.Новотроицы. После того как в 1989 г. сгорел стационар на р. Валдайке, здесь практически помещался исследовательский центр Института географии РАН на Валдае (за день до рокового дня Михаил принимал у себя экспедицию почвоведов).

Его искали отряды МЧС, милиция, сотрудники Валдайского национального парка и жители деревень Ужин, Новотроицы, Новая. Друзья, сменяя друг друга, приезжали на Валдай и метр за метром прочесывали окрестные леса. Опытные охотники с собаками проверяли наиболее вероятные места исчезновения. Менялись люди, методы поиска — то кинологи, то водолазы с лодкой, то самолет; бессменными оставались на посту близкие — жена и сыновья. Весь месяц ежедневно они уходили при любой погоде в лес, на болота, на берега озер и искали, искали, искали... Он столько отдал сил исследованию этого края... И вот здесь, на Валдае, он и оставил свое сердце. ■



Место красит человека

Ночи были полны ветра, струящегося в блеске лун сквозь море трав в пустых полях. Люди остались лицом к лицу с необъятностью Марса, опаленные зноем марсианского лета, укрытые в домах марсианской зимой. Что станет с ним, с остальными? ... Лежа в постели, Гарри чувствовал, как удлиняются у него кости, как они изменяют форму, размягчаются, словно плавящееся золото. Спящая рядом жена была смуглая, золотоглазая. Она спала спокойно; спали в своих кроватках бронзово-загорелые дети. А ветер свистал в изменившихся персиковых деревьях, волновал сиреневую траву, срывал с роз зеленые лепестки.

Рэй Брэдбери

«Были они смуглые и золотоглазые»

Л.А.ЖИВОТОВСКИЙ

«Из каких Вы мест?» — этот вопрос был обычным лет 40 назад, когда люди еще мало ездили и если заводили разговор с приезжим, чей вид, говор и поведение говорили о том, что вырос он в иных краях. Из книг мы знали, что аборигены Африки — черные, а Америки — краснокожие. И хотя негров и индейцев мы видели в те времена только на иллюстрациях к приключенческим романам, они подсказывали нам, что климат, рельеф, вода, животные, растения, люди — т.е. все то, что окружает нас с рождения, — каким-то образом лепят человека по своему образу и подобию.

В этом эссе речь пойдет о многообразном влиянии окружающей среды на адаптивные изменения у человека. Мы будем говорить о тех различиях, что существуют сегодня между расами и другими этническими группами, о том, как они эволюционно возникли, об адаптивных тенденциях современного человечества. Многое изучено лишь совсем недавно, и об этом можно прочитать только в научных публикациях. Однако в современной жизни, когда люди стали намного мобильнее, чем 40 лет назад, и выходцы из разных мест все чаще встречаются



Лев Анатольевич Животовский, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН. Заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии РФ, лауреат премии им.И.И.Шмальгаузена РАН в области эволюционной биологии. Занимается проблемами изменчивости ДНК у человека, популяционной и эволюционной генетики, эволюции сложных признаков и биоинформатики.

друг с другом, эти научные открытия прямо касаются чувствительных вопросов различия людей. Понимание экологических, генетических и социальных первопричин таких различий позволяет грамотно относиться к ним.

Условия среды определяют основные различия между людьми. Мы — представители класса млекопитающих, и у всех зверей с нами много общих биологических черт. Унаследованы они от общих предков, живших десятки миллионов лет назад (млекопитающие зародились 30—40 млн лет назад). У нас с ними одни и те же гены и признаки, определяющие «каркас» организма. Хотя млекопитающие во многом схожи, но выглядят и живут они по-раз-

ному, поскольку, как говорят биологи, занимают разные экологические ниши. За сотни тысяч и миллионы поколений каждый вид «вписался» в свою нишу, соответственно которой и устроены его особи: одно дело жить в воде, как киты, другое — на суше, как слоны, третье — в джунглях, как обезьяны.

Человек ближе всего к высшим обезьянам. С ними нас эволюционно связывает общность прошлых условий жизни: ведь минуло «лишь» 7 млн лет с тех пор, как ветви, ведущие к человеку и наиболее родственному из современных высших обезьян — шимпанзе, отделились от общего предка. Но все это время предки человека жили в иной экологической нише, чем предки человекообразных обезьян.

Адаптация к новым условиям и привела за это время к нынешним отличиям между нами и шимпанзе.

Однако разные экологические ниши занимают не только разные виды, но и отдельные группы и популяции. Каждая из них адаптировалась к своей среде и со временем стала отличаться от других популяций. Эволюционная генетика позволяет понять, как развивались генетические механизмы приспособления и как возникали наследственные различия между людьми из разных мест. Перейдем к примерам.

На прародине человечества, в Центральной Африке, сильнейшим внешним фактором были высокая температура и интенсивная солнечная радиация. Поэтому терморегуляция тела стала тем механизмом, который обусловил основные существующие ныне отличия аборигенов экваториального пояса Земли от европейцев. Действительно, у негров Африки сильно пигментированная кожа (с большим количеством меланина), а вот у шимпанзе и гориллы — светлая, лишь с темными участками на ладонях, подошвах и лице у взрослых особей. С большой долей вероятности можно предположить, что наши далекие африканские предки также имели светлую кожу. Но почему же тогда исконные обитатели Африки темнокожие? Палеоэкологические и палеонтологические находки говорят о том, что, вероятнее всего, первые обезьянолюди вышли (или были вытеснены) из-под полого леса на более открытые пространства Экваториальной Африки. Как приспособление к тропической жаре, для спасения от перегрева, у предка человека за прошедшие миллионы лет возник механизм потоотделения через формирование системы потовых желез — с одновременным уменьшением волосяного покрова для более эффективного испарения пота и охлаждения тела.

Оголение кожи спасло человека от перегрева, но привело к нежелательным последствиям — открыло тело губительному действию ультрафиолета на ДНК и, в конечном счете, на процессы клеточного деления и сперматогенеза. Как защитная реакция организма на лучи палящего солнца африканских саванн усилился синтез вырабатываемого в коже пигмента меланина, который поглощал большую часть ультрафиолетовых лучей. Наличие пигментных зерен и обусловило темный цвет кожи. Однако природа поставила преграду неограниченному росту содержания меланина. Кожа должна была быть частично проницаема для ультрафиолета, поскольку именно он запускает синтез витамина D, который регулирует фосфорно-кальциевый обмен в организме. Так, у коренных народов Африки в чреде поколений количество меланина эволюционно (через отбор соответствующих генов) стабилизировалось на оптимальном для экваториальных районов уровне.

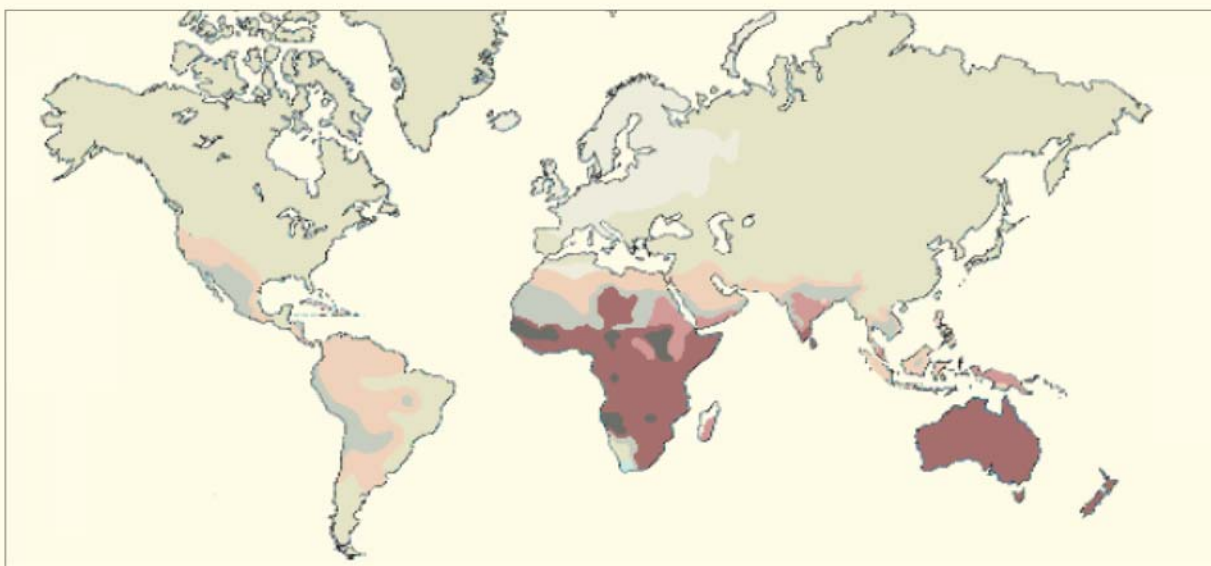
Механизм эволюционной стабилизации уровня меланина, запущенный в обратную сторону, привел к вторичному осветлению кожи в холодных районах планеты, когда вылившийся из Африки поток человечества повернул на север. Адаптивность людей к условиям севера сформировалась за счет такого уменьшения количества меланина, при котором поток поглощенных организмом ультрафиолетовых лучей еще обеспечивал синтез витамина D. В результате пигментация кожи у представителей разных народов в целом уменьшается по мере удаления от экваториальной зоны планеты (рис.).

Другой пример, демонстрирующий последствия адаптации человека к тропическому климату, — рост пигмеев Экваториальной Африки, живущих под пологом леса. Они невысокие, но не только потому, что маленьким удобно в густых лес-

ных зарослях. Основная причина — опять-таки терморегуляция: во влажных лесных дебрях тропиков небольшой рост обеспечивает лучшее соотношение площади поверхности и массы тела, оптимизируя потоотделение и предохраняя организм от перегревания. И еще один пример: у аборигенов жарких пустынь высокий рост и тонкие икры — чтобы большая часть тела находилась подальше от раскаленной земли.

Все это говорит о том, что приспособление к местным условиям (часто к одному или немногим факторам, например солнечной радиации) может вызвать заметные морфологические и физиологические различия между людьми. Таким путем эволюционно формировались основные наследственно обусловленные отличия между народами, обитающими в различных климато-географических условиях, и не только по росту или цвету кожи, но и по другим признакам (цвету волос и глаз; форме тела, черепа или носа; структуре волоса и его длине; усвояемости различных продуктов питания и др.). Параллельно, вследствие определенной пространственной изоляции, складывались свои языки и культура, т.е. возникли тесно сплоченные *этнические группы*, отличающиеся между собой по внешнему облику, образу жизни, языку, нравам, обычаям и верованиям. Географически разделенные «континентальные» группы человечества называли *расами*, а наследственные признаки, отличающие их (в первую очередь цвет кожи), — *расовыми*.

За термином «раса» тянется длинный хвост негативных ассоциаций, связанных с представлением о биологической неравноценности разных народов. Но из всего сказанного выше очевидно, что их следует рассматривать как «экологические расы», генетически отличающиеся лишь по признакам, обеспечивших лучшую адаптацию к соответствующим услови-



Изменение пигментации кожи у представителей разных народов в зависимости от географической широты. Чем ближе к экваториальной зоне, тем сильнее пигментация кожи у аборигенных народов, что представлено на карте участками различной затемненности. Требуется десятки тысяч лет, чтобы отбор привел к изменению цвета кожи, поэтому в тропической зоне Америки интенсивность пигментации у индейцев гораздо меньше, чем у аборигенов Африки. Действительно, поскольку предки американских индейцев (потомки североазиатских индейцев) проникли в Новый Свет сравнительно недавно — 12—15 тыс. лет назад, этого эволюционного времени было недостаточно для развития темной окраски. В то же время коренное население Австралии — негроидное: материк был заселен около 60 тыс. лет назад. Следует иметь в виду, что отбор в сторону большей или меньшей пигментации идет на фоне других факторов среды, в том числе состава пищи. Так, наличие достаточного количества витамина D в рыбной диете уменьшает потребности организма в синтезе собственного витамина D и, тем самым, может уменьшить отбор на осветление кожи в северных районах у народов, тысячелетиями занимавшихся морским промыслом. Вероятно, поэтому некоторые народы Севера, например, гренландские эскимосы, имеют темную кожу.

ям среды, а в остальном сходных. В современном мире с развитой защитой от солнечной радиации и других факторов среды и при усиливающихся генных потоках между расами такие признаки переходят в разряд «нейтральных». Они являют собой еще один тип наследственного разнообразия людей (полиморфизма), аналогичного полиморфизму групп крови, цвета волос и глаз, и т.п.

Распространенность наследственных патологий в разных этнических группах и географически далеких регионах также обусловлена эволюционными процессами. Многие наследственные заболевания возникают как «вредные» мутации — «поломки» функционально важных генов. Если хоть какие-то

носители таких мутаций доживают до репродуктивного возраста, они передаются следующим поколениям. Сохранившаяся мутация распространяется сначала среди географически близких популяций, а затем, через миграции, — в более отдаленные места. Так, на основе чисто случайного появления мутаций, их диффузии в соседние популяции и локального отбора со временем возникают этнические и региональные различия по тем или иным наследственным патологиям. При этом специфические факторы среды могут либо усилить, либо, наоборот, ослабить эффект вредной мутации, т.е. распространенность того или иного заболевания может сдерживаться или усиливаться.

Важно подчеркнуть, что среда действует не только через отбор и эволюционное изменение генофонда вида в чреде поколений, но и прямо — через распространение новых идей, развитие технологий и проявление задатков. Так, технические инновации, начиная с древних времен (например, поддержание и использование огня; обработка орудий труда, новые материалы и пр.) и кончая современными нанотехнологиями, быстро распространяются по планете благодаря так называемому *культурному наследованию*, т.е. получению знаний и навыков от окружающих людей. Значит, говоря о человеке и его эволюции, мы должны понимать под средой не только ее физические свойства (температура, влаж-

ность, освещенность и т.п.), но и интеллектуальную атмосферу, поступки окружающих, жизненные ориентиры и пр. Однако это уже иная тема, выходящая за пределы данного эссе.

Тем не менее с позиций культурного наследования многие бытующие представления о генетическом различии народов оказываются ложными. Например, в свое время был введен показатель IQ — коэффициент интеллекта. Проведенные исследования, казалось бы, ясно демонстрировали, что негры отличаются от европейцев не только цветом кожи, но и более низким IQ. Потом выяснилось, что у представителей желтой расы IQ выше, чем у белых, после чего исследования на эту тему приостановились. Стало ясно, что коэффициент IQ вообще не объективен как показатель интеллектуального развития. Его изобрели представители технической цивилизации, которые при составлении вопросов опирались на багаж знаний и навыков, приобретаемых в определенной социальной среде с первых лет жизни. Если бы африканские или полинезийские аборигены составили свой IQ-тест, они бы включили туда вопросы, отражающие их понимание природы, животных и человека. И по такому тесту многие из европейцев выглядели бы умственно отсталыми. Таким образом, прежде чем интерпретировать научные открытия с позиций превосходства одного народа над другим, следует понять суть этого открытия с позиций генетического и культурного наследования: именно их взаимодействие и обеспечивает уникальность каждого народа, каждой культуры и отдельной семьи.

Человечество изменяет среду, подстраивая ее под себя. Животные в окружающей их среде действуют избирательно и активно: перемещаются в места с достаточной пищей и более подходящим климатом, строят убежища, изобретают новые

приемы охоты и защиты. Таким образом, среда обитания как бы тоже эволюционирует за счет ее направленного выбора и переустройства. Животные лучше приспособляются, если быстро меняют свое поведение. А для этого нужно то, что мы называем умом. Именно в переустройстве своей среды человек преуспел по сравнению с другими животными, в том числе приматами, что и обеспечило ему безусловное доминирование на планете.

Эволюция человека разумно за последние десятки тысяч лет была не просто эволюцией биологического вида как физической адаптацией к условиям жизни, но в первую очередь *эволюцией мысли* и вызванной ею эволюцией культуры. Человек для выживания пользовался не только своей физической силой и преимуществами группового образа жизни. Новые знания открывали новые возможности. Кочующие орды переходили от охоты и собирательства к одомашниванию животных и выращиванию растений, развивали средства передачи информации, находили новые материалы и технологии. Все это лучше обеспечивало людей пищей, делало их более защищенными и в конечном итоге увеличивало их численность.

Хотя человек — лишь один из видов приматов, т.е. попросту — обезьяна (с шимпанзе у нас совпадают 98—99% генома), но чрезвычайно умная, способная материализовать мысль, строить в голове модели и затем воплощать их технически. Благодаря этому человек меняет среду обитания намного активнее, чем другие животные, подстраивая ее под себя. Скажем, еще 30 тыс. лет назад люди занимались только охотой и собирательством, имели только каменные орудия и выживали, только находясь в хорошей физической форме. Сейчас мы ходим в магазины, живем в отапливаемых квартирах, используем разнообразную технику, лечимся

эффективными препаратами. Но при этом многие не могут поднять свой вес и боятся темных ночей в лесу. Возникает вопрос: кто более приспособлен, мы или кроманьонский человек тысячи лет назад?

Несомненно, подчас изменения в окружающей среде обитания не во всем полезны для самого человека. Так, расширяя площадь обрабатываемых или отводимых под иные цели земель, мы уничтожаем леса и загрязняем реки, обрекая себя в будущем на нехватку зеленого ресурса и питьевой воды. Тем не менее следует рассматривать приспособленность человека к среде, которая существует *сегодня*, и сравнивать ее с приспособленностью первобытного человека к условиям его жизни, существовавшим в *его время*. И тогда ответ на поставленный вопрос может быть только один: человечество сейчас более приспособлено, чем в доисторические и даже недавние времена! Действительно, мы изменили среду обитания в свою пользу настолько, что способны защитить себя от действия низких и высоких температур, произвести много пищевых продуктов и эффективно лечиться.

Можно услышать, что в качестве критерия благополучия следует оценивать «качество жизни» человека. Однако единого мнения по поводу того, что такое «качество жизни», нет, и едва ли можно сказать, каково оно было 30 тыс. лет назад. Но мы точно знаем, что в далеком прошлом шансы на выживание у ребенка с каким-либо врожденным дефектом (например, с вывихом бедра или пороком сердца) были существенно ниже, чем у их здоровых сверстников. В отличие от древних времен, сегодня человеку не мешает выжить, скажем, неспособность быстро бегать: сейчас и в селе, и в городе существует множество профессий, для которых такое умение абсолютно не нужно, да к тому же имеются технические средства передви-

жения. Среди первобытных людей зрелости достигали не все, а до 30—40 лет доживали единицы, но совсем не потому, что малая продолжительность жизни была заложена в генах. Дикие звери, раны, недостаток пищи уносили многие жизни задолго до начала старения. В процессе технической эволюции, с улучшением условий жизни и развитием медицины уменьшалась детская смертность и увеличивалась доля людей, доживающих до зрелого возраста. И это тоже говорит о возрастании приспособленности человека как вида в измененной им среде.

Нередко также приходится слышать, что современный человек, выиграв в техническом совершенстве, физически, генетически проиграл и стал слабым. С этим можно согласиться, но с оговоркой: за исключением врожденных аномалий развития, эту «слабость» вызывают чаще всего не генетические причины, а лишь комфортные условия жизни, причем с самого младенчества. На долю нашего современника нечасто выпадают физические нагрузки, бывшие повседневными для первобытного человека; однако если такое случится, он, скорее всего, реализует «дремлющие» в его геноме физические возможности. Думается, что если бы кромаонец схватился врукопашную с бойцом спецназа, то наш далекий предок вряд ли победил бы. Точно так же умение выжить в диких условиях определяется тем, насколько оно востребовано. Таежные охотники Сибири и кочевые жители Азии дают нам примеры такого умения. Да и многие из нас смогли бы, если бы мы и наши родители с младенчества росли в тех условиях — ведь генетически и по физическому потенциалу люди не так уж сильно отличаются друг от друга.

Исследования показывают, что генетические различия между всеми людьми на Земле (включая пигмеев Африки и аборигенов Америки) затраги-

вают лишь одну тысячную часть всего генома! На самом деле генетическое сходство между людьми еще выше — ведь большинство различий между ними приходится на «молчащие» участки ДНК и не затрагивает функционально важные гены. Да мы не очень-то сильно отличаемся по внешнему виду и от своего близкого эволюционного родственника — неандертальца, не говоря уже о кроманьонском человеке, от которого отсчитываем нашу ближайшую эволюционную историю.

Итак, человечество в целом как биологический вид удовлетворяет трем основным критериям увеличения приспособленности: растет общая численность; расширяется географический ареал (встречается теперь во всех точках планеты и даже начинает выходить за ее пределы); увеличивается средняя продолжительность жизни. И человечество — это единый вид, состоящий из географически и этнически различающихся популяций с эволюционно малыми генетическими различиями между ними.

Глобальное изменение среды обитания и возможные последствия. В ходе изменений окружающей среды генофонд человечества должен меняться соответственно условиям. Теперь для жизни в современном обществе нужны такие физические, физиологические и психологические качества, какие не требовались нашим далеким предкам. Как бы мы ни уговаривали себя и других, что разные народы планеты будут жить в своих условиях, этого не будет. Сегодня генофонд человечества все более выравнивается: аборигенные народы Африки, Америки, Океании и Азии несут в себе следы смешения, начавшегося со времен великих географических открытий; а межэтнические генные потоки все усиливаются — население разных континентов перемешивается. Значит, даже те небольшие генетические различия между

расами и другими этническими группами, что были вызваны эколого-географическими причинами, будут стираться. Кроме того, в жизнь всех народов властно вторгаются современные технологии. Если по романам Фенимора Купера мы знаем, что американские индейцы быстро освоили огнестрельное оружие, то сейчас в северных чумах или пещерах берберов наряду с примитивными орудиями можно увидеть мобильные телефоны и телевизоры, да и летчатся они современными средствами.

В конце 60-х годов XX в. возникло движение ведущих экологов мира — так называемый Римский клуб, который серьезно обеспокоился возможной экологической катастрофой, неизбежной, если человечество не прекратит экстенсивное техническое развитие. Сигналы катастрофы, на которые мы сейчас все меньше обращаем внимания, показали тогда столь серьезными, что в 1992 г. в Рио-де-Жанейро состоялось совещание ООН, где собрались главы 180 государств, чтобы обсудить два возможных пути развития мировой экономики. Один путь, экономически и технически апробированный столетиями буржуазного и капиталистического развития, — так называемое поддерживаемое развитие (в неточном переводе именуемое устойчивым развитием), т.е. глобализация экономики, усиление рыночных механизмов. Другой, который предлагали ведущие экологи мира, основан на концепции достаточности, равенства и качества жизни. Однако способов реализации этой концепции, кроме не оправдавшего себя социалистического пути развития, не нашли.

Выбран был первый путь. Правда, он не решил поставленных экологических задач и сейчас оказался еще дальше от проблем голода и болезней в Азии и Африке. Но раз человечество продолжает идти по этому пути, то среда обитания бу-

дет и дальше изменяться в сторону, диктуемую крупными компаниями, сильными странами и сиюминутными выгодами. Отсюда — множество перекосов в устройстве стран и обществ. Не касаясь социальных, экономических и религиозных аспектов таких перекосов, посмотрим на биологические изменения, возможные в ближайшие поколения в таком глобальном мире.

Во-первых, генетически модифицированные организмы, даже самые вредные из них, но экономически более конкурентоспособные и проталкиваемые на рынки мира крупнейшими компаниями, вытеснят естественные сорта и породы. Наши потомки уже в ближайшие десятилетия станут есть пищу, к которой еще нет биологической адаптации. Что-то пройдет спокойно, а что-то нет — могут появиться новые заболевания, усилятся аллергии. Более того, вырвавшиеся из-под контроля искусственные генные конструкции могут изменить не только растительный и животный мир вокруг, но и нашу кишечную микрофлору и реакции иммунной системы. Развивающаяся медицина будет противостоять этому, и мы будем принимать все больше лекарств и поддерживающих препаратов.

Во-вторых, часто можно слышать, что численность людей возрастает, и из-за перенаселенности начнутся стрессы. Но главное, что мы еще не осознаем, — так это то, что люди станут жить в Интернете и окажутся под давлением возрастающего потока информации. Из-

меняются ценности и критерии полезности человека для общества и соответственно оплата труда. Вот это действительно стресс, поскольку с такой ситуацией люди раньше не сталкивались и у большинства нет к ней адаптации. Выжить и приспособиться смогут только индивиды с определенным типом нервной системы и способностями к усвоению и переработке огромного объема информации.

В-третьих, в обязательном порядке пройдет генетическая паспортизация людей. С ней, помимо пользы, появятся свои минусы. Усилятся система контроля за людьми и их зависимость от государства. Доступность информации о ДНК каждого приведет к новым видам индивидуальных и государственных преступлений.

В-четвертых, будет отработана технология клонирования человека. Без нашего согласия могут появиться наши копии, а с ними — новые этические и юридические проблемы. Станет доступным искусственное прерывание беременности в зависимости от генотипа плода, что избавит человечество от рождения детей с заведомо трудноизлечимыми болезнями, но породит новый вид дискриминации.

В-пятых, успехи медицины и улучшение условий жизни заметно увеличат продолжительность жизни. Но человеческий организм эволюционно сконструирован так, чтобы обеспечить нормальную жизнедеятельность лишь в течение репродуктивного возраста. Жизнь человека, как и любого другого

живого существа, подобна ракете-носителю: она эволюционно отлажена так, чтобы успешно функционировать до отделения очередной ступени, а дальнейшая ее судьба разработчика не волнует. А значит, пожилой человек будущего — это искусственная инженерная конструкция, поддерживающая работу разлагающихся с возрастом частей тела и обеспечивающая деятельность творца человеческой цивилизации — головного мозга, точнее, его основного продукта — мысли.

С позиций сегодняшних представлений, обрисованная перспектива — не из приятных. Однако думается, что 30 тыс. лет назад нашего предка кроманьонца стошнило бы при мысли о той жизни, какую мы ведем сейчас. Как следует из всей эволюционной предыстории *Homo sapiens*, человечество как биологический вид будет и далее процветать вопреки такому изменению среды, а скорее всего — именно благодаря ему. Возрастет численность человечества, и оно продолжит пространственную экспансию — вплоть до освоения космоса. В то же время появятся иные требования к организму, в том числе к иммунной системе, адаптация к гравитационным перегрузкам, устойчивость психики и пр. Внешне все еще мало отличаясь от бедного эволюционного родственника-неандертальца, но будучи уже в чем-то другим, человек станет космической силой, переустраивая Землю и осваивая околоземные и все более и более дальние миры и все глубже открывая суть своего «Я». ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 04-04-48639.

От Гиббса до Пригожина

А.М.Тойкка,

доктор химических наук

Санкт-Петербургский государственный университет

Академик Ю.Д.Третьяков

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

В середине 40-х годов минувшего века молодой И.Пригожин издает совместно с Р.Дефэем двухтомную монографию «Thermodynamique Chimique Conformément aux Méthodes de Gibbs et De Donder» (Химическая термодинамика, изложенная по методу Гиббса и де Донде) [1], ныне хорошо известную всем физико-химикам. Русскоязычный читатель увидел ее перевод под названием «Химическая термодинамика» только в 1966 г. И это издание, и предшествовавшие ему английское и немецкое не сохранили первого названия книги. А между тем оно свидетельствует об истоках термодинамической теории Пригожина и о его научных корнях.

Имя Ильи Романовича Пригожина сейчас не просто хорошо известно, он по праву признан одним из величайших мыслителей XX в., его последователями в равной мере считают себя физики, химики, математики, философы. Джозайя Уиллард Гиббс не имел такой известности при жизни, но в биографических заметках о нем научная принадлежность также многолика: для химиков он химик, для физиков — физик, для математиков — математик. Видимо, именно причастность к термодинамическому сообществу определила столь широкий круг интересов и Гиббса, и Пригожина.

* * *

Биография Гиббса внешне очень скромна, небогата событиями, тем не менее так же известна, как и яркая биография Пригожина. В литературе о Гиббсе и его творческом наследии в первую очередь обращают на себя внимание комментарии к его научным работам [2] — беспрецедентное издание, по объему превосходящее собрание трудов автора. Основное, а может быть, и единственное назначение этих двух внушительных томов — донести до читателя глубинные идеи, то, что написано «между строк». Возможно, многое удалось, поскольку авторами комментариев были извест-

ные ученые. Впрочем, еще в 1926 г. в журнале «Chemisch Weekblad» в связи с 50-летием правила фаз были опубликованы статьи таких выдающихся химиков и физиков, как А.Ле Шателье, Я.Вандер-Ваальс, В.Оствальд, Г.Тамман и др., посвященные Гиббсу и его научному наследию.

Правило фаз Гиббса — внешне простая формула $f = n + 2 - r$, определяющая число степеней свободы (f) n -компонентной r -фазной системы. Она входит во все учебники по термодинамике, но за простотой кроется чрезвычайно глубокий смысл. Дискуссии, касающиеся самого определения фазы и модификаций правила фаз, до сих пор можно встретить в литературе. Понятие фазы вводится как сверхтермодинамическое утверждение, не вытекающее непосредственно из первого и второго начал, но без него невозможно построить гиббсовскую термодинамику гетерогенных (многофазных) систем. В России этот важнейший элемент теории Гиббса был воспринят и широко освещался в литературе еще в XIX в. Например, очень обширная статья «Правило фаз» содержалась в популярнейшем «Энциклопедическом словаре» Брокгауза и Ефрона. А в статье известного отечественного физико-химика И.А.Каблукова, написанной 100 лет назад, это правило представлено как центральное положение в термодинамике Гиббса [3].

Интерес к трудам Гиббса связан с разными обстоятельствами исторического и научного характера. Термодинамика Кельвина—Клаузиуса, а также ее аксиоматическая форма, предложенная К.Каратеодори уже после кончины Гиббса, представляла собой законченную теорию. Но она не могла рассматриваться как **достаточная** основа для применения термодинамики в решении широкого круга естественнонаучных проблем, включая химические задачи. Основу современной химической термодинамики составляет теория Гиббса, объекты которой — многокомпонентные гетерогенные системы с переменными массой и составом, химическими превращениями и фазовыми переходами. С методологической точки зрения термодинамика

Гиббса представляет собой самостоятельную логическую структуру с элементами аксиоматики.

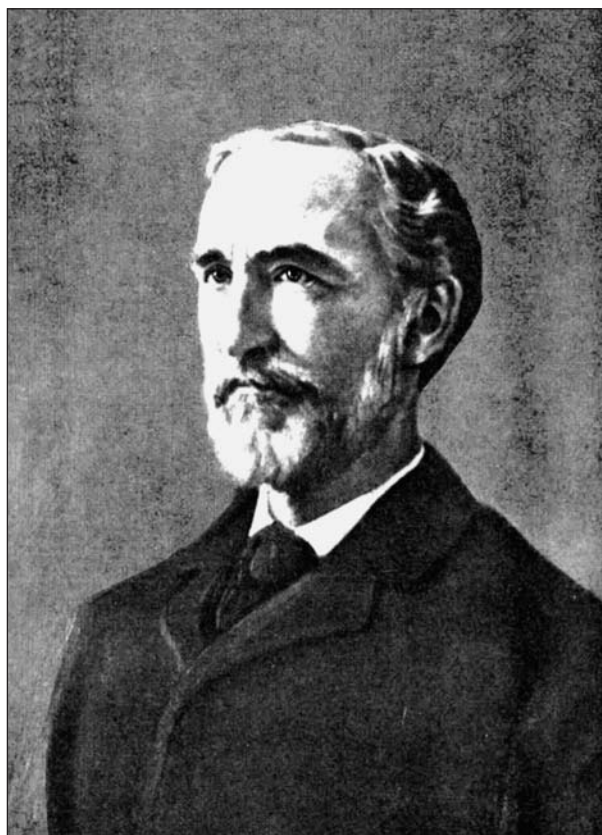
Плодотворность метода Гиббса высоко оценили современники, но адаптация теории для практических задач потребовала усилий и времени, по-видимому, из-за аксиоматических элементов теории. Действительно, в своей основной работе — «О равновесии гетерогенных веществ» — Гиббс почти без пояснений дает формулировку принципов равновесия [4].

В дальнейшем также обнаруживаются элементы аксиоматического построения и изложения: сначала дается формулировка и вслед за тем — обсуждение, сопровождаемое примерами. Вряд ли оправдано мнение, что эту статью трудно понять даже подготовленному читателю. В то же время, хотя «аксиоматический подход кратчайшим путем ведет к сути любой теории», как пишет М.Бунге в своей «Философии физики» (М., 1975), ясно, что работы Гиббса — не для первого знакомства с термодинамикой.

Что касается педагогической деятельности Гиббса, то о ней высказывались по-разному: его ученики говорили о высоком научном уровне лекций и ясности изложения, а современники и сам Гиббс отмечали, что по-настоящему его лекции были поняты только полудюжиной студентов. Наверное, он действительно читал лекции, не особенно учитывая подготовленность слушателей.

Если говорить о термодинамике, то только в последние годы жизни Гиббс, как указывают его биографы, все-таки решил издать в более доступной форме «О равновесии гетерогенных веществ». Задуманное не было осуществлено, о чем можно сожалеть, потому что развитие термодинамики шло бы значительно интенсивнее, и, скорее всего, в несколько другом направлении. Но в ранние годы Гиббс не проявлял особого желания переиздать свои труды, адаптировав для широкого круга читателей. А предложения исходили даже от таких видных современников, как Дж.У.Рэлей. Он писал: «Думали ли Вы издать какой-нибудь новый трактат, основанный на «Равновесии гетерогенных веществ»? Первая версия, хотя она и привлекает внимание, которого заслуживает, **слишком сжата** [выделено нами. — А.Т., Ю.Т.] и трудна не только для большинства, но, можно сказать, для всех читателей. <...> Я уверен, что нет никого, кто мог бы написать книгу по термодинамике так, как Вы сами». Гиббс отвечал: «Лично я пришел к выводу, что вся ошибка состояла в том, что книга вышла **чересчур пространной** [выделено нами. — А.Т., Ю.Т.]. Мне кажется, что когда я ее писал, у меня не было чувства времени как собственного, так и чужого»*. Оставляем без комментариев эти высказывания классиков об одном и том же предмете — «слишком сжата» и «чересчур пространна»!

* Цитируется по: Франкфурт УИ, Френк АМ. Джозайя Виллард Гиббс. М., 1964. С.120,121.



Джозайя Уиллард Гиббс.

В конце XIX в. появились переводы работ Гиббса, сыгравшие существенную роль в популяризации его идей. В 1892 г. в Лейпциге вышла его книга на немецком языке в переводе Оствальда («Thermodynamische Studien»), а в 1899-м в Париже — на французском, в переводе Ле Шателье («Equilibre des systèmes chimiques»). Эти издания сыграли существенную роль в популяризации идей Гиббса. Сам он не участвовал в подготовке изданий (хотя Оствальд, например, просил его об этом), не говоря уже о комментариях к ним, о чем можно только сожалеть. К сожалению, в издании Ле Шателье была допущена досадная ошибка, как ни странно, непосредственно связанная с принципом Ле Шателье. Не касаясь деталей, отметим, что там неверно, с одними и теми же нижними индексами, даны частные условия устойчивости, приведенные в статье Гиббса при разных способах закрепления интенсивных и экстенсивных параметров:

$$\left(\frac{\Delta\mu_1}{\Delta m_1}\right)_{t,v,m_2,\dots,m_n} > 0, \quad \left(\frac{\Delta\mu_2}{\Delta m_2}\right)_{t,v,\mu_1,m_3,\dots,m_n} > 0, \dots,$$

$$\left(\frac{\Delta\mu_n}{\Delta m_n}\right)_{t,v,\mu_1,\dots,\mu_{n-1}} > 0.$$

Такая же ошибка допущена и в русском переводе [5]. Это различие между производными существ-

венно при формулировке условий устойчивости [6]. Действительно, только при корректном, гиббсовском закреплении переменных произведение производных (именно произведение, а не «сумма произведений», как неточно указано в другом русском переводе [7]),

$$\left(\frac{dt}{dn}\right)_{V, m_1, m_2, \dots, m_n}, \quad \left(\frac{d\mu_1}{dm_1}\right)_{T, V, m_2, \dots, m_n}, \\ \left(\frac{d\mu_2}{dm_2}\right)_{T, V, \mu_1, m_3, \dots, m_n}, \quad \dots, \quad \left(\frac{d\mu_n}{dm_n}\right)_{T, V, \mu_1, \dots, \mu_{n-1}}$$

равно детерминанту, определяющему устойчивость и ее границы. Это лишь один пример того, как трудно воспринимались некоторые основные элементы термодинамики Гиббса.

Очевидно, что термодинамическая теория Гиббса, как и другие его работы (в области физики и математики), требовали определенной адаптации с ориентацией на широкий круг читателей. Первый пример такой адаптации — упомянутые уже двухтомные комментарии к работам Гиббса. Есть и другие, сейчас более известные издания, такие как «Курс термостатики» Ван-дер-Ваальса и Ф.Констамма (перевод под ред. А.В.Раковского, 1936), «Современная термодинамика, изложенная по методу У.Гиббса» Э.А.Гуггенгейма (перевод под ред. С.А.Щукарева, 1941) и другие книги, вышедшие на русском языке. Для русскоязычного читателя, безусловно, значительным событием стали переводы трудов Гиббса под редакцией В.К.Семенченко [5] и Д.Н.Зубарева [7].

В 1948 г. в Ленинграде выходит в свет монография А.В.Сторонкина (1916—1994) «Об условиях термодинамического равновесия многокомпонентных систем», за которую двумя годами позже автору была присуждена Сталинская премия. Эта книга сыграла чрезвычайно важную роль в истории отечественной термодинамической школы, в первую очередь потому, что ее основные концепции базировались на идеях Гиббса. Алексей Васильевич обратился к его работам еще студентом и в неполные 24 года опубликовал большую статью на немецком языке «Über die Gleichgewichtsbedingungen in Zweiphasen-systemen mit vielen Komponenten. 1» (Об условиях равновесия двухфазных многокомпонентных систем. 1) [8]. В ней автор, следуя гиббсовскому методу, развивает теорию гетерогенных систем. За эту работу уже после войны на защите кандидатской диссертации ему присваивают докторскую степень. Алексей Васильевич даже на фронте не расставался с работами Гиббса, перед которыми почти благоговел. Сторонкин в своих статьях и книгах, включая двухтомную «Термодинамику гетерогенных систем», вышедшую в 1967 и 1969 гг., использовал символику Гиббса для термодинамических величин, т.е. греческие буквы. Гиббсовским духом была наполнена и научная атмосфера кафедры теории растворов (впоследствии — кафедры хими-

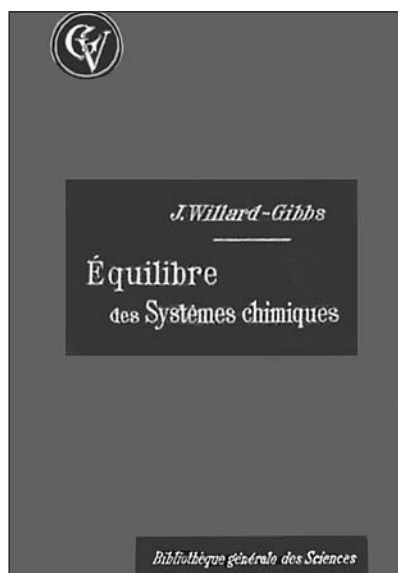
ческой термодинамики и кинетики), основанной в 1951 г. Сторонкиным в Ленинградском университете.

Метод Гиббса в термодинамике оказался чрезвычайно плодотворным для химической науки XX в. Аксиоматическая структура термодинамики К.Каратеодори и Т.Афанасьевой—Эренфест, их последователей и оппонентов, относится к закрытым системам — системам, которые не обмениваются со средой ни одним из веществ. Гиббс, введя в качестве термодинамических переменных такие величины, как количества веществ и химические потенциалы, учел возможность изменения масс веществ и включил в рассмотрение фазовую структуру гетерогенной системы. В аксиоматике же Каратеодори и Афанасьевой—Эренфест система рассматривалась как «черный ящик». Теория Гиббса — это то, что требовалось химии, в которой массообмен составляет важнейший атрибут процесса. В сущности, мы обязаны Гиббсу не только открывшимися неисчерпаемыми возможностями термодинамики для решения химических задач, но и тем, что она перестала быть принадлежностью только теоретической физики. Химическая термодинамика стала важнейшим фундаментом теоретической химии, основой методов исследования тех процессов, которые протекают в химических системах.

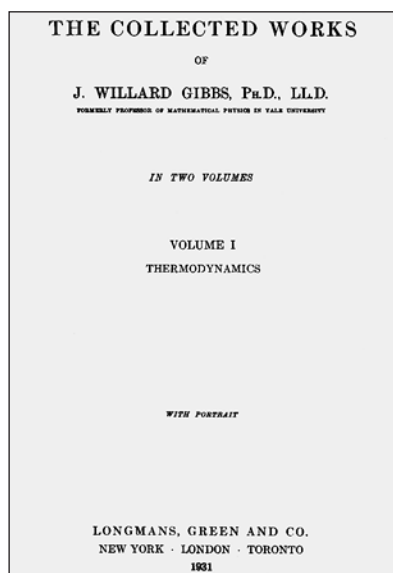
Даже при беглом обзоре достижения Гиббса поражают многообразием. Ему принадлежат основополагающие работы в разных областях знания, включая

- учение о термодинамическом равновесии в гетерогенных системах (теория термодинамических потенциалов, правило фаз, термодинамика поверхностных явлений, графические методы в термодинамике);
- построение современной статистической механики;
- создание современной векторной алгебры и векторного анализа;
- термодинамическую теорию фазообразования;
- законы осмоса (за 10 лет до работ Я.Х.Вант-Гоффа);
- термодинамику электрохимических явлений (до появления работ В.Нернста);
- термодинамическую теорию упругости;
- теорию капиллярных явлений.

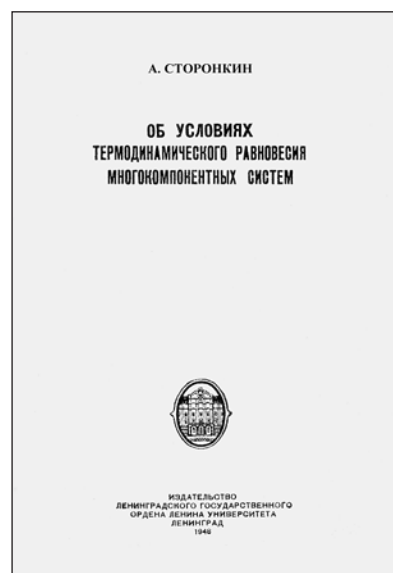
В сравнении с научным наследием биография Гиббса скромна, небогата внешними событиями. Его семья тесно связана с наукой: один из прадедов был основателем Принстона, а отец (также Джозайя Уиллард Гиббс) — профессором Йельского колледжа, известным и как борец за права американских негров. Дж.У.Гиббс-младший родился в 1839 г. в Нью-Хейвене, в 19 лет окончил Йельский колледж. В 24 года получил степень доктора философии (второй в истории США доктор по естественным наукам) за работу «О форме зуб-



Обложка французского издания работ Дж. У. Гиббса в переводе А. Ле Шателье.



Титульный лист Собрания трудов Дж. У. Гиббса. Т. 1.



Обложка книги А. В. Сторонкина.

цов в цилиндрической зубчатой передаче» (она не была опубликована). До 27 лет Гиббс преподает в колледже, затем проводит три года в Европе и слушает лекции в Париже (Сорбонна и Коллеж де Франс), Берлинском университете и, наконец, в знаменитом Гейдельбергском университете. С Гейдельбергом связаны многие имена (Бунзен, Кирхгоф), но в биографических источниках, включая письма самого Гиббса, не указывается, чьи лекции он посещал. Между тем в 1858—1871 гг. профессором там был Г. Гельмгольц, один из величайших ученых XIX в. Имена Гиббса и Гельмгольца в термодинамике тесно связаны, вспомним хотя бы уравнения Гиббса—Гельмгольца. Мы просто вынуждены предположить, что излюбленное место прогулок Гельмгольца — Философская тропа в горах над р. Неккар — было и местом многократных случайных встреч с молодым Гиббсом. Через два года после возвращения домой он назначается профессором математической физики Йельского университета и остается на этой должности до самой кончины, последовавшей 28 апреля 1903 г. Гиббс вел спокойную размеренную жизнь по раз и навсегда установленному режиму. Какие-либо поездки исключались, он любил пешие прогулки в одиночестве по окрестным живописным горам. Хотя о Гиббсе написано большое число биографий*, все их авторы ссылаются на довольно скудную информацию, касающуюся его частной жизни, в том числе в Йельском университете. Хорошо известны отдельные факты,

* Наиболее полная биография Гиббса на русском языке изложена в упомянутой книге У. И. Франкфурта и А. М. Френка.

например лаконичное выступление в дискуссии «Математика — это язык» или приготовление салатов в качестве специалиста по гетерогенным равновесиям.

Гиббса отличали исключительная скромность без каких-либо признаков честолюбия и высокомерия, добросовестность, благожелательное отношение к окружению, провинциальность, а также медленная эволюция творческих успехов (первая публикация в 34-летнем возрасте). Но эти черты сочетались с удивительной способностью к обобщениям и созданию совершенной системы знаний (а возможно, и обусловили такую способность). В какой-то степени этот образ — антипод модного постсоветского «имиджа» ученого. Очевидное нежелание Гиббса публиковать незавершенные работы определило небольшое, особенно по современным меркам, число трудов. А полное их собрание было издано только четверть века спустя после кончины. В то же время статьи, опубликованные в американских журналах, были хорошо известны и исключительно высоко оценены, но не в США, а в Европе (Максвеллом, Ле Шателье, Оствальдом, Джоулем, Бертло, Ван-дер-Ваальсом...). Наверное, нет ничего важнее для ученого, чем признание его заслуг. В этом смысле Гиббс был счастливым человеком. Больцман называл его «одним из великих американских ученых, быть может, величайшим в области абстрактного мышления и теоретических исследований», а английский физико-химик Ф. Дж. Доннан говорил о нем как о гениальном человеке, сочетавшем глубокую интуицию с высшей степенью логического мышления.

Безусловно, выдающаяся способность к абстрактному мышлению предопределила и построение термодинамической теории. Правда, несмотря на элементы аксиоматического характера (например, внутренняя энергия и энтропия считаются исходными, данными понятиями), теорию Гиббса нельзя считать законченной аксиоматикой, в отличие от термодинамики Каратеодори и Афанасьевой—Эренфест. Аксиоматика открытых систем развита в последующих работах, например в цикле статей Л.Тиссы, объединенных в книге «Generalized Thermodynamics» (Cambridge, 1966).

Насколько просто и логично излагается теория Гиббса в лекционных курсах и учебниках? К сожалению, часто не удается преодолеть искушение: сначала представить термодинамику в историческом аспекте, начиная с цикла Карно, затем перейти к аксиоматике Каратеодори и уже в заключение, рассматривая многокомпонентные системы и фазовые равновесия, изложить теорию Гиббса. Много зависит от преподавателя, но бывает, что термодинамику Гиббса — автономную логическую структуру — представляют как часть теории Кельвина—Клаузиуса—Каратеодори. Поэтому студенты спрашивают, например, зачем надо доказывать условие равенства температур равновесных фаз, если это и так ясно в силу нулевого начала термодинамики. По-видимому, методически правильнее поступают преподаватели, излагающие теорию Гиббса как автономную.

В зарубежных университетах преподавание химической термодинамики имеет прикладную направленность; это отражается на содержании курсов, учебников и монографий. Существенное внимание уделяется эмпирическим методам и моделям, а фундаментальным положениям отводится довольно скромное место. Кафедры и лаборатории, связанные с термодинамическими исследованиями и обучением химической термодинамике, в большинстве своем скрываются за названием «Chemical Engineering». Имя Гиббса, безусловно, встречается в учебниках и монографиях — ведь он не только гениальный ученый, но и признанный символ мировой и американской науки XIX в. Но химическая термодинамика излагается с некоторой легковесностью, хотя результаты, связанные с именем Гиббса, лежат в основе как теории, так и практических приложений: энергия Гиббса, фундаментальное уравнение Гиббса, уравнение Гиббса—Дюгема, закон Гиббса—Коновалова, уравнения Гиббса—Гельмгольца...

Как видим, в названиях уравнений часто сочетаются две фамилии. Всегда ли это оправдано? Гуттенгейм в своей «Термодинамике», говоря об уравнении Гиббса—Дюгема, отмечает, что не смог найти какой-либо вывод этого соотношения Дюгемом ни в одном научном журнале [9]. Иного рода пример — закон Гиббса—Коновалова, в нем два

имени сочетаются вполне обоснованно. Замечательный русский ученый Дмитрий Петрович Коновалов (1856—1929) установил закон независимо от Гиббса. Коновалов, как известно, был знаком с его исследованиями, но, скорее всего, узнал о них после выхода своего труда «Об упругости пара растворов» (СПб., 1884). В нем ссылок на Гиббса нет, а логика другая — оба ученых пришли к аналогичным выводам независимо.

Американский профессор К.Джолс из университета Айовы, популяризатор работ Гиббса в Америке, в переписке с одним из авторов данной статьи (А.М.Тойкка) сетовал, что значение теории Гиббса не вполне доносят до студентов. Сам Джолс пришел к термодинамике Гиббса своеобразно: будучи музыкантом по первому образованию, он оценил красоту теории, совместив, как он говорил, правое и левое полушария мозга, ответственные одно — за искусство, другое — за логику, науку. По-видимому, не только его, но и многих привлекла и вовлекла в термодинамическое сообщество именно красота теории Гиббса.

Гиббс, безусловно, был и остается одним из ярчайших образцов преданности науке. Не может не производить впечатление контраст между его небогатой внешними событиями биографией и обширнейшим вкладом в развитие естествознания, при этом очевидна современность большинства результатов. Мы упоминали о работах Тиссы. Примечательны обстоятельства, связанные с тем, как он обратился к теории Гиббса. Работая в области физики низких температур, Тисса столкнулся с проблемами термодинамического описания явлений в окрестности абсолютного нуля. Только используя метод Гиббса, он смог дать корректную интерпретацию того, что казалось ему противоречивым. В наше время, когда мы иногда вынужденно, а иногда и без особой необходимости жертвуем термодинамической строгостью во имя сиюминутных результатов, подобные примеры особенно поучительны. Научная строгость — не дань академичности, а необходимость, которая приводит и к выдающимся практическим результатам (мы ссылаемся на теоретические результаты Тиссы, но никто не будет оспаривать практические достижения физики низких температур). Термодинамика Гиббса подтверждает тезис: «ничего нет практичнее хорошей теории». Вновь отметим не сложность, а простоту и последовательность теории Гиббса: чем логичнее изложение, тем проще оно для восприятия. Сам Гиббс говорил, что одной из главных целей теоретического исследования в любой области знаний является поиск той точки зрения, с которой предмет предстает в его наибольшей простоте.

В ряду лауреатов Нобелевской премии за достижения, связанные с термодинамикой, много выдающихся имен: Вант-Гофф, Оствальд, Ван-дер-Ваальс, Нернст, Онзагер, Пригожин, но не Гиббс... Возможно, это связано с его ранней кончиной.

* * *

Сейчас уже не обсуждается вопрос, можно ли в университетском образовании отказаться от неравновесной термодинамики как теории реальных процессов. В вопросе содержится и ответ: реальные процессы неравновесны, и студенты должны иметь представление о них. В Ленинградском университете, например, еще в 60-е годы были введены курсы неравновесной термодинамики. В 70-е годы лекции читались практически для всех студентов химического факультета и включали не только феноменологическую, но и статистическую неравновесную термодинамику. Эти дисциплины были введены на базе кафедры теории растворов по инициативе Сторонкина, так же как лекции и семинары по статистической термодинамике, новый курс химической кинетики. Сторонкин создал эти курсы и оставался лектором некоторых из них вплоть до окончания активной педагогической работы в конце 80-х годов. Как мы упоминали, на кафедре Сторонкина придерживались строгого гиббсовского подхода, поэтому переход к неравновесной термодинамике может показаться неожиданным. Но очевидно, что это только иллюстрирует плодотворность метода Гиббса, элементы которого включены в структуру неравновесной термодинамики (например, при формулировке принципа локального равновесия: фундаментальное уравнение Гиббса применимо к точке, движущейся со скоростью центра масс).

У Гиббса не было прямых продолжателей в неравновесной термодинамике. Вряд ли можно отнести к таковым даже одного из основоположников этой области знаний норвежца Ларса Онзагера, преподававшего в Йельском университете и в 1945 г. занявшего кафедру своего великого предшественника. Кафедра Гиббса — действительно высокая честь для ученого. На надгробии скончавшегося в 1976 г. Онзагера в ознаменованье его научных заслуг высечено: «J. Willard Gibbs Professor, Nobel Laureat*», и справа внизу — «*etc.».

И все же есть основания говорить о влиянии гиббсовского метода как на развитие неравновесной термодинамики, так и на их признанных создателей — нобелевских лауреатов Онзагера и Пригожина. В частности, именно Гиббсу мы обязаны не только теорией устойчивости в термодинамике, но и самой идеей термодинамической устойчивости — концепции, которая занимает центральное место в теории неравновесных систем. К сожалению, избежать ошибок или недоразумений в интерпретации даже основ гиббсовской термодинамики в дальнейшем не удалось. Например, вполне трактуется знак неравенства в принципах равновесия Гиббса (не условий устойчивости!):

$$(\delta S)_{U,V,m_1,\dots,m_n} \leq 0, (\delta U)_{S,V,m_1,\dots,m_n} \geq 0$$

(S — энтропия, U — внутренняя энергия). Этим фактически предпринимаются попытки вывести



Дмитрий Петрович Коновалов.

условия устойчивости из условий равновесия, что неверно по существу. Критически высказывался по этому поводу А. Мюнстер: «Знак неравенства (часто вызывающий недоразумения) относится к случаю, при котором возможны только односторонние виртуальные смещения и поэтому нельзя решить, является ли равновесное значение энтропии стационарной точкой в математическом смысле» [10]. Аналогично замечал и Р. Хаазе: «В литературе знак неравенства в формуле (1.18.1) $[\delta S \leq 0. — Ю.Т., А.Т.]$ зачастую опускают, ограничивая возможные отклонения двусторонними изменениями, и представляют эти отклонения как обратимые изменения состояния в смысле равенства (1.8.8.) $[\delta S = 0. — Ю.Т., А.Т.]$. Это совершенно неправильно, так как возможное отклонение от равновесия соответствует не только обратимому, но и неосуществимому изменению состояния. <...> Знак равенства в случае двустороннего изменения потому имеет место, что наибольшее значение энтропии обуславливает стационарную точку...» [11]. В «Химической термодинамике» Пригожина и Дефэя эти представления об односторонних и двусторонних возмущениях изложены предельно ясно, что значительно облегчает понимание читателями смысла знака неравенства в формулировке принципов равновесия Гиббса.

* * *

Как ученики Т.Де Донде Пригожин и его коллеги привлекают к анализу устойчивости новые элементы. Критерием устойчивости состояния 1 по отношению к состоянию 2, по Пригожину, служит величина (знак) некомпенсированной теплоты: если она отрицательна $Q'_{1 \rightarrow 2} < 0$, то состояние 1 устойчиво. Это означает, что изменение энтропии в обратном процессе (переход из 2 в 1) положительно, т.е. система самопроизвольно возвращается в исходное состояние. Такая форма критерия устойчивости, как отмечали Пригожин и Де-Фэй, имеет преимущества перед гиббсовской, так как не надо конкретизировать условия, наложенные на систему. Но это преимущество условно: Пригожин и его коллеги опираются на Клаузиуса, который ввел представление о некомпенсированной теплоте прежде всего для термически однородной закрытой системы. При строгом анализе неравновесных процессов все равно приходится привлекать уточняющие условия.

В отличие от Гиббса, в теории Де Донде—Пригожина вводится параметр ξ (степень полноты реакции, химическая переменная), который непосредственно описывает возмущение, виртуальное или реальное, т. е. неравновесный процесс. Связь между некомпенсированной теплотой Q' и ξ определяется соотношением $dQ' = Ad\xi \geq 0$, где A — сродство. В дальнейшем ξ оказывается уже не только атрибутом химического превращения, но любого процесса, например фазового, и, следовательно, становится универсальным (внутренним) параметром, описывающим процессы возмущения—релаксации. Это важный шаг в развитии теории термодинамической устойчивости, позволивший не только конкретизировать частные случаи, но и оставаться в рамках единого подхода, описывая разные явления.

Концепция сродства не вполне воспринималась в молодые годы Пригожина. Одна из дискуссий о втором начале касалась правомочности использования сродства и химической переменной для анализа устойчивости и была опубликована на страницах «Journal of the Franklin Institute» в 1949 г. [12]. Дж.Финк, из-за статьи которого началась полемика, утверждал, что дифференциал энтропии не будет полным дифференциалом, если в качестве одной из переменных при равновесном превращении использовать параметр ξ . Ответ Пригожина и П. ван Риссельберга был исчерпывающим: ξ характеризует неравновесный процесс, а не равновесие, поэтому при равновесном превращении ξ и не должен быть независимой переменной. Тем не менее последовал дальнейший обмен доводами. Очевидно, что Финк, как и многие авторы (в прошлом и в наше время), ограничиваясь первой частью 2-го начала (о существовании энтропии и абсолютной температуры), не включал в свой анализ вторую часть — закон возраста-

ния энтропии, утверждение о направленности процессов в природе, об асимметрии нашего мира, о направлении течения времени.

Позже Пригожин неоднократно подчеркивал необходимость глубокого анализа 2-го начала. Например, в нобелевской лекции он говорил: «... через сто пятьдесят лет после его формулировки второй закон термодинамики все еще представляется скорее программой, а не хорошо разработанной теорией в обычном смысле, так как ничего точного (кроме знака) о производстве энтропии не говорится. **Даже область справедливости этого неравенства остается неопределенной**» [выделено нами. — А.Т., Ю.Т.].

Представление о сродстве позволило преобразовать неравенство Карно—Клаузиуса

$$dS > \frac{dQ}{T}$$

в равенство

$$dS = \frac{dQ}{T} + \frac{Ad\xi}{T}.$$

Осталось только конкретизировать вид зависимости для второго слагаемого, что, в сущности, по-прежнему остается центральной проблемой неравновесной термодинамики. Установить закономерности неравновесного изменения параметров — важнейшая задача как при анализе устойчивости и процессов возмущения—релаксации, так и применительно к произвольному процессу. Однако следует различать устойчивость относительно бесконечно малых и конечных изменений (или возмущений). Пригожин и Гленсдорф отмечали, говоря о конечных возмущениях: «Устойчивость системы в состоянии А по сравнению с состоянием В, находящемся от А на конечном расстоянии, может тогда зависеть не только от свойств самих состояний А и В, но также от способа, каким система переходит из А в В...» [13]. Отметим, что высказывание, близкое словам Пригожина, об области справедливости неравенства, Гиббс приводил в связи с условиями устойчивости. Комментируя свою формулу

$$\Delta U > T\Delta S - p\Delta V + \mu_1\Delta m_1 + \dots + \mu_n\Delta m_n,$$

он отметил: «Действительно, если подобное условие $\langle \dots \rangle$ (в его строгой интерпретации) справедливо для бесконечно малых разностей, то должна быть возможность указать пределы, внутри которых оно справедливо и для конечных разностей» [4]: Следовательно, уже Гиббс указывал, что необходимо определить область справедливости неравенства. Но это невозможно сделать без расширения или хотя бы уточнения теории. Правомочно ли такое для термодинамики?

В статье, посвященной памяти Пригожина, Г.Николис пишет: «В течение продолжительного времени часть термодинамического сообщества придерживалась идеи, что термодинамика — это

автономная наука, которая базируется на совокупности исходных (также называемых «феноменологическими») соотношений, объединенных между собой как элементы наблюдаемых явлений, ограничений, причем они должны удовлетворять определенным условиям, среди которых второй закон играет наиболее важную роль. Это приводит к элегантным методам, охватывающим очень сложные системы, такие как материалы с памятью или внутренними степенями свободы.

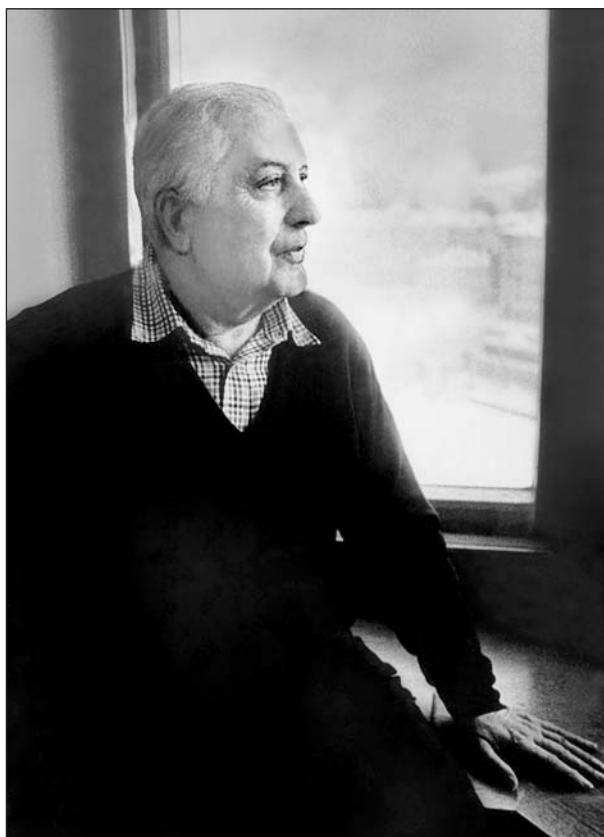
Пригожин не был частью этого сообщества. Он очень рано осознал необходимость обращения к микроскопическим аспектам необратимых явлений, подобно тому, как Онзагер до него ввел сверхтермодинамические допущения, вытекающие из теории флуктуаций, для того чтобы установить «соотношения взаимности» [14].

По-видимому, это высказывание несколько односторонне. Пригожин затрагивал именно те элементы термодинамической теории, которые действительно нуждались в дополнительном анализе и до сих пор требуют экспериментального обоснования. Если классиками термодинамики не дан ответ на вопрос, как протекают неравновесные процессы, это не означает, что и не следует искать на него ответ. Естественно, что поиск и привлечение новых закономерностей автоматически выводит теорию за пределы классической термодинамики.

Отметим, что под максимально строгим подходом в термодинамике надо иметь в виду аксиоматическую теорию. А общепризнана сейчас только аксиоматика закрытых систем, несмотря на то, что существуют различные аксиоматические построения для открытых систем и других случаев.

Илья Романович Пригожин принадлежал именно той части термодинамического сообщества, которая всесторонне владела классическим аппаратом термодинамики, причем уже в молодые годы он чрезвычайно глубоко понимал основы, на которые опирается термодинамика. Вновь напомним, что «Химическая термодинамика» Пригожина и Дефэя — одна из лучших книг по термодинамике. Только на такой базе он имел и право, и возможности развивать термодинамику, не ниспровергая при этом таких законов природы, как 2-е начало.

В пригожинской неравновесной термодинамике объединены термодинамическая и кинетическая теории. Так был сделан огромный шаг вперед, хотя до сих пор встречаются утверждения, что термодинамика и кинетика абсолютно несоместны. А понимание того, что некоторые элементы даже равновесной теории могут или должны быть пересмотрены, встречается, например, у такого классика термодинамики «нового времени», как Тисса, который, говоря о реальности виртуальных возмущений, конечно же, указывал на флуктуации.



Илья Романович Пригожин.

Фото В.В.Богданова

Как возмущение состояния, так и любой неравновесный переход в общем случае происходит по нелинейным законам — в природе нет ничего абсолютно линейного. Известно, что нелинейная неравновесная термодинамика — это, в первую очередь, термодинамика химических реакций. К сожалению, в данной области эксперимент отстает от теории. Чрезвычайно мало комплексных, одновременно термодинамических и кинетических, экспериментальных сведений даже о флюидных реакционных системах, для которых легче получить прямую термодинамико-кинетическую информацию, в частности, о связи между сродством и скоростью химической реакции. Подобные результаты были бы крайне полезны и позволили бы установить новые закономерности взаимосвязи между потоками и термодинамическими силами в нелинейной области.

Пригожин предлагал и альтернативный подход к условиям устойчивости как равновесных, так и неравновесных состояний на основе принципа Ле Шателье—Брауна. Несмотря на кажущуюся простоту принципа, трудно найти пример более вольного (и некорректного) обращения со строгим термодинамическим положением. Основа же подхода к принципу Ле Шателье—Брауна

у Пригожина заложена в «Химической термодинамике», где на строгом и образцовом уровне изложены теоремы модерации (поведение систем, выведенных из равновесия).

Отметим, история принципа Ле Шателье—Брауна связана не только с именами Даламбера, Гаусса, Ле Шателье, Гиббса и других зарубежных ученых. В частности, сама идея возникла в России как аналог правила Ленца Эмилия Христиановича, профессора и ректора Санкт-Петербургского университета. А первый подробный и термодинамически корректный анализ принципа предложил Павел (Пауль) Сигизмундович Эренфест в те пять лет, когда он с женой Татьяной Алексеевной Афанасьевой-Эренфест, также внесшей огромный вклад в развитие термодинамики, жил в России. Статья Эренфеста «Принцип Ле Шателье—Брауна и термодинамические законы взаимности» была опубликована на русском языке в «Журнале Русского физико-химического общества» в 1909 г.

* * *

В отличие от Гиббса, у Пригожина блестящая и впечатляющая биография, о нем много пишут в современной литературе. Еще больше у него последователей, хотя не все их выводы вполне корректны в научном отношении: видимо, не всегда удается преодолеть искушение получить некие «революционные» результаты, якобы опираясь на труды нобелевского лауреата. Пригожин поистине — «человек мира»: он состоял членом 70 академий (в том числе РАН) и научных обществ в 31 стране, был почетным доктором 38 универси-

тетов (среди них Московский и Санкт-Петербургский) и институтов в 19 государствах, удостоен 22 премий и стольких же медалей. Илья Романович поддерживал (начиная с хрущевской «оттепели») связи с родиной, где в общей сложности побывал 11 раз. Он скончался в Брюсселе 28 мая 2003 г. на 87-м году жизни.

Идеи неравновесной теории, термодинамики необратимых процессов проникли в интеллектуальную атмосферу России еще в начале XX в. На удивление созвучны пониманию неравновесной термодинамики поразительные строки Максимилиана Волошина из стихотворения «Космос», написанного в Коктебеле в 1923 г. (цикл «Путиами Каина»).

*Нет плотности, нет веса, нет размера —
Есть функции различных скоростей.
Все существует разницей давлений,
Температур, потенциалов, масс;
Струи времен текут неравномерно;
Пространство — лишь разнообразье форм;
Есть не одна, а много математик;
Мы существуем в Космосе, где все
Теряется, ничто не создается;
Свет, электричество и теплота —
Лишь формы разложения и распада,
Сам человек — могильный паразит,
Бактерия всемирного гниения.
Вселенная — не строй, не организм,
А водопад сгорающих миров,
Где солнечная заверть — только случай
Посередине необратимых струй. ■*

Литература

1. Prigogine I., Defay R. Thermodynamique Chimique Conformément aux Méthodes de Gibbs et De Donder. V.I. Paris; Liege; 1944. V.II. Paris; Liege, 1946.
2. A Commentary on the Scientific Writings of J.W.Gibbs. V.I and II. / Eds F.G.Donnan, A.Haas. New Haven, 1936.
3. Каблуков И. // Научное слово. 1905. Кн.IV. С.107—118.
4. Gibbs J.W. // Trans. Conn. Acad. III. 1876. P.108—218; 1878. P.343—524.
5. Гиббс Дж.В. Термодинамические работы / Перевод под ред. В.К.Семенченко. М.; Л., 1950. С.160.
6. Тойкка А.М. // Журн. физ. химии. 1990. Т.64. №11. С.2557—2559.
7. Гиббс Дж.В. Термодинамика. Статистическая механика / Перевод под ред. Д.Н.Зубарева. М., 1982. С.118.
8. Storonkin A. // Acta Physicochimica U.R.S.S. 1940. V.13. №4. P.505—530.
9. Guggenheim E.A. Thermodynamics. Amsterdam, 1950. P.25.
10. Мюнстер А. Химическая термодинамика. М., 1971. С.77.
11. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов. М., 1967. С.61.
12. J. Franklin Institute. 1949. V. 247. №5. P.497—503.
13. Nicolis G. // Energy. 2004. V.29. P.491, 492.
14. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М., 1973. С.66.

Острова в Южном океане

И.А.Ман



Полярный капитан И.А.Ман.
Фото 30-х годов.

Эти заметки, относящиеся к событиям 50-летней давности, написаны полярным капитаном Иваном Александровичем Маном (1903–1982). С его жизнью и плаваниями, особое место среди которых занимали экспедиции к берегам Шестого континента, читатели «Природы» уже знакомы (2003. №12. С.59). Сегодня мы представляем небольшие отрывки из книги об Антарктике, которую капитан так и не дописал. Речь в них идет о рейсе флагманского судна первой Комплексной антарктической экспедиции Академии наук СССР (1955–1956) «Обь» из Антарктиды через Южный океан с его многочисленными островами.

Рукопись (к сожалению, только малая ее часть) была переведена в электронную форму дочерью Ивана Александровича – Люцией Ивановной Ман, скоропостижно скончавшейся 13 июня 2005 г. Она также подготовила комментарии и иллюстрации. Для Л.И.Ман, по первой и основной профессии физика-кристаллографа, а впоследствии переводчика, эта работа с непривычными для нее географическими текстами была непростой. В ней Люции Ивановне помогали советами друзья ее отца, старейшие участники Первой антарктической экспедиции – доктор геолого-минералогических наук А.В.Живаго и академик А.П.Лисицын.

После окончания строительства станции Мирный морской части экспедиции, возглавляемой В.Г.Кортом (его заместителем был И.А.Ман), предстояли обширные океанографические исследования. 29 февраля 1956 г. «Обь» отправилась в плавание... Было выполнено 15 океанографических станций и 575 миль эхолотного промера моря Дейвиса (70% всей его акватории). Форсируя битые льды, «Обь» подошла 9 марта 1956 г. к Берегу Сабрина, затем к Берегу Банзаре, где приступили к океанографическим работам в районе о-вов Баллени...



© Ман И.А., наследники, 2006

Вдоль Новозеландского порога

После выхода из льдов Антарктики в районе о-вов Баллени 30 марта 1956 г. «Обь» направилась вдоль Новозеландского порога к о.Маккуори и далее в столицу Новой Зеландии — Веллингтон. На пути проводятся океанографические исследования с целью выяснить закономерности водообмена двух океанов — Тихого и Индийского, которые по существу разграничиваются этим мощным поднятием дна. Это событие было отмечено одним из доморощенных поэтов [скорее, всего самим И.А.Маном. — Л.М.] следующим стихом:

*Обледелые избороздили воды,
С берегов таинственных сорвали пелену,
Вкусили мы во множестве невзгоды,
Едва не оказавшись там в плену.
Сквозь рев штормов и мглу туманов
Корабль свой путь на север проложил,
На грани двух огромных океанов
Обмен их холодных вод установил...*

Уже шестой день мы идем на север вдоль Новозеландского порога. Однако успешному проведению исследований мешает штормовая погода. Нередко она вынуждает нас прекращать работу, иногда даже менять курс, уменьшать скорость и удерживаться носом против огромной волны, «штормовать». Это позволяет уменьшить количество вкатывающейся на палубу воды и ее разрушительную силу. Качка также становится меньше. Можно, хотя и с трудностями, все же проводить лабораторную обработку полученных материалов. По определению нашего волнографа, высота волн достигает 14—15 м, что в два раза больше, чем самая высокая штормовая волна, когда-либо наблюдавшаяся на Черном море или на Балтике. Конечно, это далеко не предел высоты волн в этих широтах Южного океана [два года спустя примерно в этом районе, но несколько южнее, «Обь» выдержала еще более страшный ураганный ветер, когда скорость ветра доходила до 46 м/с и даже более, а высота волн достигала 18 м. — Л.М.]

Нас не удивляет, что вокруг судна даже в такой шторм парят и проносятся буревестники и странствующие альбатросы. Их тела и крылья остаются неподвижными. Птица поднимается вверх, набирает высоту почти прямо против ветра. Кренится, делает вираж и стремительно уносится под ветер, далеко за корму, где буквально чертит крылом седой гребень гигантской волны. Развернувшись, снова догоняет судно, уходит вперед и, отойдя в сторону, опять возвращается. Зачастую эта громадная птица в метр длиной и размахом крыльев в 3—3,5 м и даже более пролетает вровень с мостиком. Кажется, что ее можно достать рукой. Чуть заметно повернув голову в вашу сторону, она спокойно и внимательно осматривает судно и как будто не обращает на вас никакого внимания. Красота и изящество полета этих птиц надолго

приковывает ваше внимание, и вы любуетесь птицей, подолгу простаивая у борта... Мы пользуемся каждым малейшим ослаблением ветра, чтобы провести океанографические наблюдения. На палубе, одетые в непромокаемую одежду, быстро и размеренно работают ученые. Опускают на разную глубину «горизонты», батометры, чтобы достать образцы воды для последующего гидрохимического анализа. Опускаются на дно черпаки и трубки, приносящие образцы грунта не только верхнего слоя, но, проникая вглубь, образцы более ранних отложений. Характер и состав этих проб помогает определить историю вод, их температуру в далеком прошлом, а, следовательно, и палеоклимат. Ученым приходится выпускать за борт многие километры тросов, так как судно сильно дрейфует и сносится ветром. Поэтому тросы с грузом на конце вытягиваются под очень острым углом к поверхности океана. Нередко палубу захлестывает шальная волна, накрывая с головой работающих людей. Иногда этот холодный душ сбивает с ног человека, несет его по палубе, грозит ушибами и даже увечьем. Поэтому вдоль всего судна на палубе протянуты леера — манильские или пеньковые тросы толщиной в большой палец. Тросы помогают людям держаться вместе и передвигаться по палубе, предохраняют от несчастья. Настоящий шторм в море — это не совсем то, что мы видим с берега в Ялте или Сочи. Недаром старые пословицы гласят: «Кто на море не бывал, тот и богу не молился». Наш курс проложен прямо на о.Маккуори. Возможно, если позволит погода, мы побываем на этом острове. Тем более, что приглашение начальника научной станции на острове и одновременно администратора острова мистера Дж.Адамса нами уже получено.

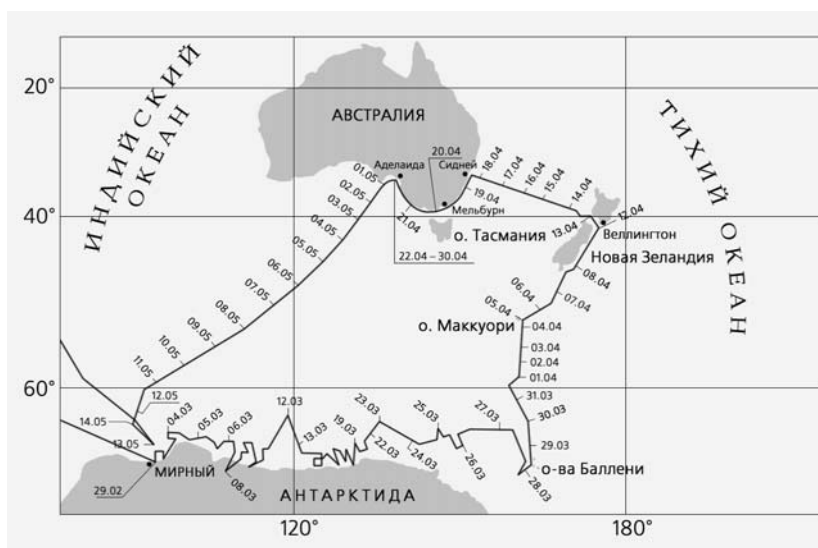
Остров Маккуори

<...> Третьего апреля погода несколько улучшилась. Следует прямо на Маккуори. Появилась надежда, что нам удастся высадиться на острове. В 14 ч 30 мин сквозь густые низкие облака и сетку дождя начали вырисовываться высокие берега. В 16 ч «Обь» подошла к северо-восточной оконечности острова и отдала якорь в заливе Бакли в полумиле от берега. Отлично видна радиостанция и несколько отдельно стоящих домиков — научных павильонов и жилых домов, расположенных на низком перешейке около скал северной возвышенности острова. Начальник острова и станции (она расположена на месте старой зимовки Австралийско-Новозеландской экспедиции. — Л.М.) Дж.Адамс сообщает, что высадка, несмотря на значительный прибой, возможна и что сотрудники станции выходят навстречу, чтобы принять русских моряков и ученых при подходе шлюпки. Спускаем «пятерку» (катер). Думаю, что 12 чело-



Отсюда, от Берега Правды, где в 1955 г. была основана советская обсерватория Мирный, «Обь» отправилась в плавание в антарктические воды.

Маршрут «Оби» с марта по май 1956 г.



век — это как раз столько, сколько может безопасно пересечь на «пятерке» линию прибоя и высадиться на каменистый пляж. Кроме того, такое количество гостей посылно для приема по существу небольшой научной группой, живущей на острове. На подходе к берегу обнаруживаем большие заросли водорослей, заходить в которые небезопасно для винта. Однако заботливые хозяева острова выставили небольшой створ, который помогает нам выбрать путь и удачно подойти. Тем не менее, чтобы не повредить катер, мы выпрыгива-

ем с катера в воду раньше, чем он касается грунта. В конце концов, небольшая ванна — незначительная плата за удовольствие побывать на столь интересном острове и не повредить при этом катер, который, сразу же дав задний ход, отходит от крупногалечного пляжа с выходящими во многих местах камнями. В катере остается только Мария Васильевна Кленова, наш уважаемый морской геолог, которая не успевает спрыгнуть в воду и которой на этот раз не удастся разделить с нами все превратности моря. Командир катера помощник



Обитатели антарктических островов: морской слон, пингвины.

капитана Ермохин категорически отказывается сделать вторую попытку подхода и высадки, и, несмотря на протесты Кленовой, делает несколько галсов вдоль берега и направляет катер обратно к судну. Выбираемся из воды, знакомимся с Адамсом и собравшимися сотрудниками станции. Сейчас же садимся на камни, снимаем сапоги и выливаем из них воду. Наши сапоги принадлежат к той известной разновидности непромокаемых <...> сапог, которая, как известно, пропускает воду внутрь, но обратно, действительно, ее не выпускает, делая сапоги воистину водонепроницаемыми. Справедливости ради следует сказать, что на этот раз вода попала в сапоги через голенища, потому что некоторым из нас пришлось выпрыгнуть из катера и оказаться по пояс в воде. Однако всем весело. Все о чем-то говорят. Все ново. Суматоха и оживление увеличиваются. Не знающие



языка пытаются все же как-то объяснить. Все смеются. У всех на лицах приветливые улыбки. Наконец восстанавливается относительный порядок. Адамс приглашает нас на станцию, с тем чтобы сейчас же переодеться в сухое или хотя бы просушиться.

Немного просушившись, приступили к осмотру научных павильонов, электростанции, склада, мастерской. Погода пасмурная. Э.Д.Эзов сетует, но почти непрерывно снимает. «Может, что-нибудь и выйдет», — говорит он. Однако мы знаем, что получится не так уж плохо. Эд, как его здесь называют, — слишком опытный кинооператор.

Все здесь выглядят необычно. Мрачные вершины гор на юге иногда полностью закрываются рваными быстро несущимися облаками. Временами они открываются во всем своем мрачном величии. Глубокие ущелья, склоны которых покрыты густой травой, чередуются с обнаженными скалами. На западном берегу, отделенном от залива Бакли, где стоит на якоре «Обь», виден огромный прибой. Каскады брызг и пена то покрывают скалы и рифы, то обнажают их зловещую блестящую черноту. Можно ли выбраться из этого хаоса? Западный берег острова, не защищенный от жестоких штормов и огромной океанской волны, очень опасен. Недаром о.Маккуори является кладбищем более чем 60 парусных кораблей, главным образом зверобойных, которые в большом количестве посещали остров в начале прошлого столетия. На самом берегу среди выброшенных в огромном количестве водорослей келпа и немного поодаль от зарослей акаены неподвижно с блаженными мордами лежат, переваливаясь с боку на бок, жирные туши морских слонов. Здесь и там среди них <...> расхаживают пингвины. Тут же среди травы иногда суетливо пробежит одичавшая новозеландская курочка на необычайно длинных ногах.

Когда осмотр приходит к концу, кончается и день. Смеркается. И хотя «Обь» стоит с подветренной стороны к востоку от острова, но и на этом берегу все же есть прибой. Сейчас он усилился настолько, что подход катера к берегу опасен. Рисковать катером да еще в темноте — неразумно. Мы оказываемся пленниками радушных австралийцев, не скрывающих по этому случаю своей радости. Связываемся по радио с «Обью» и передаем распоряжение — катера на берег не высылать. Будем ожидать улучшения погоды. Вечером на станции праздник. Хороший ужин. Затем пение. Поют австралийцы, поем мы. В перерывах музыка Чайковского — вальс из балета «Лебединое озеро». <...> Затем показывают фокусы. Больше всего развлекают танцы. Особую виртуозность показал Джон Скотт, обладатель необычайно густой черной бороды. Он неутомим и выделывает уморительные па.

Маккуори — чрезвычайно ветреное место. Местная метеостанция является очень важным



В лаборатории на борту «Оби». Участники первой антарктической экспедиции А.В.Живаго и А.П.Лисицын.



В.Г.Корт и И.А.Ман у гурия на одном из небольших островков недалеко от Берега Сабрина, заложенного австралийской экспедицией под руководством Ф.Лоу.



На катере у о.Янг из группы о-вов Баллени.

звеном в прогнозировании погоды в Новой Зеландии. Недаром Дуглас Моусон [Д.Моусон (1882—1958) — исследователь Антарктиды. Впервые побывал в Антарктиде в составе экспедиции, руководимой знаменитым английским полярником Э.Шеклтоном (1874—1922). — Л.М.] еще в 1911 г. оставил небольшую часть своей экспедиции на Маккуори. Кстати, он впервые в Антарктике использовал радио для связи зимовки у мыса Денис с Австралией через радиостанцию на Маккуори. Современная радиостанция расположена почти на том же месте, что и первая, — у самой скалы Уайрлесс Хилл. Моусон чрезвычайно чтим и уважаем зимовщиками, как, впрочем, и всеми австралийскими полярниками. Мы все мечтаем о встрече с этим ветераном Антарктики, последним из могикан героической эры исследований таинственного континента, современником Скотта, Амундсена и Шеклтона. Удастся ли? Несколько раз в течение вечера выходим с Адамсом на берег проверить состояние прибоя, кажется, он еще усиливается. Впрочем, это кажущееся впечатление, создаваемое темнотой. Как бы то ни было, но ждать придется до утра. Поэтому начинаем укладываться. Как говорится, в тесноте, да не в обиде. В основном размещаемся в столовой. Утром погода улучшается, прибой не так силен, как вечером. Вызываем «пятерку», готовимся покинуть гостеприимных хозяев. Однако это не так-то просто.

Катер не заставил долго ждать. Но, к сожалению, отданный с катера якорь «не забрал» на каменистом грунте и «пополз». «Пятерку» и мотор залило водой и выбросило на берег. Мотор заглох. Пришлось немало потрудиться, чтобы спасти катер. Помощь и самоотверженная работа австралийцев была неоценима. Пока мы ведрами отли-

вали воду, собирали доски и катки, инженер Гарри Прайс бросился на станцию и через несколько минут был уже около выброшенного на берег и бьющегося о камни катера. Подкладывая доски под катер, пытаемся его развернуть так, чтобы вытящить подальше на берег. Это не удается, потому что пеньковые тросы, натянутые трактором, рвутся. Снова Прайс едет на станцию; оттуда привозят цепи. Дело идет на лад; общими усилиями разворачиваем «пятерку» перпендикулярно берегу и, подкладывая под киль доски и катки, наконец, вытягиваем его на берег. Рассыпающийся гребень прибоя только слегка достигает кормы. Сейчас катер в безопасности. Теперь остается вторая часть задачи — спуск катера на воду и его буксировка к «Оби». Вызываем моторный вельбот. Он должен подойти к берегу, отдать якорь за линией прибоя, подать на пятерку буксир и затем стащить катер с нашей помощью в воду. План ясен всем. С кормы пятерки на берег берутся концы, которыми катер будет удерживаться перпендикулярно берегу при спуске. Трактор становится у носа с тем, чтобы, упираясь в форштевень, сталкивать пятерку в воду. Вот и вельбот подходит к берегу. Сигналим «отдать якорь». Старпом Е.В.Аквис-Шаумян лихо разворачивается. Якорь летит в воду. <...> Вельбот задерживается в расстоянии 25—30 м от берега. Маневр выполнен блестяще. Однако подать буксир против ветра не так-то легко. Пришлось и нашим людям, и австралийцам и особенно самому Адамсу изрядно испускаться, прежде чем удалось протянуть буксир и закрепить его на пятерке. Итак, все готово. Трактор зафыркал, буксир натянулся, все на местах. Несколько человек, включая и начальника экспедиции, отправятся на пятерке на судно, а сейчас они стоят у борта, упираясь веслами в грунт. У каждого борта стоят по четыре человека, которые должны сопровождать катер как можно дальше в воду, чтобы не дать прибою его развернуть и снова выбросить на берег. Наступает самый решительный момент, все усилия должны быть сконцентрированы, чтобы преодолеть сначала трение пятерки о берег, а затем удары прибоя. «Go ahead!» — кричу я изо всех сил. Общими усилиями «пятерка» сдвигается с места <...>. Навстречу идет, рассыпаясь, бурун. Корма уже взметнулась кверху. Остановилась. Кажется, сейчас не хватит сил и пятерка, развернувшись, опять беспомощно начнет биться о камни. Но упорство людей берет верх, и еще до подхода следующего вала вельбот успевает оттянуть наполовину залитый водою катер на глубокое место. Как и вчера во время высадки, снова выливаем из сапог воду. Дело привычное. Сушиться будем дома, а пока подкрепляемся горячим чаем, предусмотрительно принесенным кем-то из наших хозяев.

Возвращения вельбота пришлось ждать добрый час. Закапризничал мотор. Выглянувшее солнце осветило мрачную живописность острова. Правда, сейчас она уже не так мрачна.



Шторм в районе о-вов Баллени.



На о.Маккуори.
Группу советских гостей
принимают сотрудники
научной станции, которая
начала работать здесь еще
в 1911 г.

Но настроение наших фотографов, израсходовавших всю пленку, неважное. А пока смотрят на местную капусту, гоняются за золотоволосыми пингвинами-рокхоперами, действительно довольно быстро передвигающимися прыжками. Во всяком случае, догнать их среди больших камней оказалось делом почти невозможным. Наконец, вельбот возвращается и повторяет свой маневр. На этот раз протягиваем с него на берег леер, вдоль которого поочередно перебираемся через прибой на маленькой шлюпочке «Дори». Это легкая плоскодонка с высоко поднятым носом и кормой, покрытыми палубой. Она чудесно «отыгрывается» на волне и буруне прибоа. Стремительное падение, потом скачок вверх, несколько брызг — и мы уже оттянулись от берега. Быстро перебирая руками по лееру, подтягиваемся к вельботу, в который нас буквально втягивают. И снова тонким кончиком австралийцы вытягивают «Дори» на берег.

С ответным визитом на «Обь» отправляются сам Дж.Адамс, физик Доуден и биолог Кейт. «Дори» на длинном тонком буксире легко прыгает у нас за кормой. Ею позже воспользуются австралийцы, когда <...> наш вельбот доставит их после визита к линии прибоа. Осмотр судна, обед и продолжение осмотра затянулись до вечера. Всем хочется выказать внимание и гостеприимство радужным австралийцам. Каждый хочет им что-нибудь подарить. К сожалению, ассортимент сувениров у нас небольшой. Папиросы, почтовые марки, книги. Вспоминаю вчерашние холодные купания и души, мы приносим нашим гостям по паре валенок, которые они надевают сразу же по прибытии на «Обь». Этот вид обуви австралийцам неизвестен, но ее удобство и добротность очевидны. Улыбаясь, Адамс говорит, что будет очень приятно, закончив работы в холодную ветреную погоду и продрогнув, вернуться на станцию, переодеться,

надеть валенки, выпить горячего кофе и, закулив трубку, вспомнить о добрых друзьях с «Оби». Всем нашим гостям нравится у нас. Большая залитая светом каюта капитана больше похожа на салон пассажирского лайнера, чем на столовую экспедиционного судна. А рядом — курительный и музыкальные салоны. Большая, от борта до борта, столовая команды мало чем уступает кают-компании. Тут даже уютнее, особенно в той половине, где створчатой дверью отделен красный уголок. По своему оборудованию и размерам наши лаборатории намного превосходят лаборатории обычных экспедиционных судов. Гостей приводит в восторг судовая камбуз. Большое, сверкающее чистотой, полностью электрифицированное помещение с хорошей вентиляцией. Замечательные хлебопекарня, кладовые и рефрижераторы. Есть на что посмотреть.

Принимаем увесистый пакет почты австралийских зимовщиков, предусмотрительно обшитый парусиной, чтобы не промокнуть при переправе на вельбот. Письма не придется просушивать, несмотря на то, что пакет все же побывал в воде. Мы доставим почту австралийцев в Веллингтон.

Погода не ухудшается, однако меня беспокоит высадка Адамса и его спутников на берег. Поэтому, рискуя показаться негостеприимным, я все же напоминаю ему о наступающей темноте. Оказывается, он и сам озабочен тем же. Из деликатности ему неудобно было прерывать волну нашего радушия и гостеприимства. Заканчиваем своего рода демьянову уху, вручаем подарки. Гости спускаются по трапу на вельбот. Последние приветствия, и вельбот отваливает и полным ходом идет к берегу. Освещаем ему путь прожекторами. В их свете прибой кажется необычайно высоким. Об отходе вельбота уже сообщено на станцию. На берегу видно мигание фонарика, указывающее место



В Веллингтоне, столице Новой Зеландии, встречают и сопровождают во время экскурсий представители местной власти и советской миссии.



Выступление студентов маорийского колледжа.

высадки. В свете прожектора мы видим, как наш вельбот разворачивается носом к судну и идет обратно. Маленькой «Дори» с тремя пересевшими в нее нашими гостями не видно. Как-то прошла высадка?

Машины уже готовы. Вельбот поднят. Якорь на месте. Разворачиваемся, идем в море. Даем три прощальных гудка. Вслед за этим из радиорубки на мостик приносят радиограмму. «Капитану Ману. Высадились на берег удачно ноги сухи Адамс» <...>

Ни острова и ни огоньков станции уже не видно. Их поглотила тьма. Но на экране радиолокатора очертания берега еще светятся. Они движутся к краю экрана и постепенно исчезают.

Начинает изрядно покачивать, но ветер значительно ослабел. Глубины океана здесь незначительные, и станции проводятся быстро и успешно. Мы идем к о.Окленд и далее к о.Стюарт, а затем вдоль восточного берега Южного острова Новой Зеландии — к проливу Кука. Мы зайдем в столицу Новой Зеландии Веллингтон. Новая Зеландия — участник Международного геофизического года (МГГ). Это одна из одиннадцати стран, которые построят научные станции в Антарктиде и будут проводить там наблюдения по программе МГГ. Поэтому, проводя совсем близко океанографические наблюдения, мы считаем своим долгом нанести визит вежливости и зайти в Веллингтон.

Попутно здесь будет пополнен запас топлива, пресной воды и свежих продуктов.

Восьмое апреля 1956 г., воскресенье. Вчера около 17 ч у о.Стюарт закончили последнюю океанографическую станцию на Новозеландском пороге. Идем полным ходом к проливу Кука в залив Николс, где расположен Веллингтон. Когда-то я мечтал совершить плавание в Австралию и Новую Зеландию. Моя мечта сбывается. Но несколько неожиданно и не совсем так, как представлялось. Не на паруснике с попутными штормами в ревущих сороковых, а на мощном и комфортабельном судне ледокольного типа. Другая романтика, другие дела. Да и само плавание куда более значительно и важно.

В Веллингтоне

Посещение Веллингтона — дело ответственное. Нужна основательная чистка, покраска. Но времени сделать это не было. До Маккуори — лед, шторма, холод. Пробовали красить вчера. Но кисть от краски оторвать нельзя — холодно. Позднее началась изморозь, туман. Сейчас подходим к мысу Сандерс. За ним — очень интересная бухта Отаго и город Данедин. Девятого апреля в понедельник подходим к проливу Кука. Проясняется. Один за другим открываются мысы, вершины гор. В проливе — заметное течение. Ложимся на вход в Порт Николс. Принимаем лоцмана и следуем в хорошо укрытый со всех сторон залив, очень напоминающий Авачинскую бухту на Камчатке. На рейде на полчаса становимся на якорь. Прибывают портовые власти и врач; формальности прихода просты и кратки. Власти отбывают, и мы следуем к причалу. На нем довольно много народу. Наша советская миссия в полном составе. Радостные, дорогие лица земляков. Цветы, много цветов. Приветствия, машем руками, фуражками. Швартовка закончена, спускаем трап. Иду встречать нашего Поверенного в делах К.А.Ефремова и его сотрудников. Первые минуты встречи, как всегда несколько беспорядочные, разговор перескакивает от вопросов к планам нашего пребывания в Веллингтоне. Оказывается, начальнику экспедиции и мне как капитану придется сделать несколько визитов и принять ответные визиты. А мы-то думали, что нам удастся основательно посмотреть город и его окрестности и отдохнуть. Но ничего не поделаешь, как говорят французы, положение обязывает. Договариваемся об организованных экскурсиях для ученых и экипажа. Наша миссия все берет на себя. Тут же намечаются и наиболее интересные места — университет, ботанический сад, город, правительственные учреждения, порт, гора Виктории, Хатт Вэли, Тинакори Хиллс. Наконец, план составлен. Официальные визиты будут согласованы позднее. На причале много автомобилей, часть их стоит за

воротами. Желающих побывать у нас — несколько тысяч. Посещения предусмотрены и начнутся завтра. А сейчас — люблюсь городом, живописно расположенным на склонах невысоких гор. <...> Много зелени. Причал, куда нас поставили, расположен напротив жилого квартала. Здесь много красивых небольших домов <...>. Капитан порта во время своего визита говорит, улыбаясь, что причал сравнительно редко используется под грузовые операции. Видимо, желая нам польстить, он говорит, что год назад здесь стояла яхта королевы Елизаветы II во время ее визита в Новую Зеландию. Здесь еще помнят об этом визите, в окнах правительственных учреждений и в витринах магазинов выставлено много фотографий. Немудрено, ведь за все время существования Новой Зеландии ее впервые посетил монарх.

Вообще мэр Маккалистер принял нас с Владимиром Григорьевичем [Кортом. — ЛМ.] очень радушно. Показал нам зал магистрата — красиво отделанную дубом несколько мрачноватую комнату со скамьями для олдерменов и специальным возвышением для мэра. Для полноты картины он набросил на себя мантию, а городской клерк торжественно внес в зал на атласной подушке жезл — символ власти мэра. В тот же день на судно было прислано две книжечки бесплатных билетов на городской транспорт, которыми, однако, мы не воспользовались, а раздали нашим людям как сувениры. Накануне отхода на борт судна привезли на грузовике довольно много различных растений, в том числе и несколько экземпляров древовидных папоротников, являющихся особенностью флоры Новой Зеландии. По существу — это реликтовое растение. Сопровождающий растения служащий ратуши вручил мне следующее письмо.

«Дорогой капитан Ман! Я посылаю Вам несколько новозеландских растений, которые, по мнению директора наших парков, могут быть высажены в парках вашей страны. Все растения снабжены табличками и будут легко опознаны вашими учеными. Надеюсь, что вы получили удовольствие от вашего краткого пребывания в нашем городе. Мы были рады видеть вас здесь. С сердечным приветом, искренне Ваш, Маккалистер».

Вечером в день прихода в нашей миссии состоялся прием в честь «Оби», на котором присутствовало свыше двухсот пятидесяти человек. В основном это были члены правительства, ученые, дипломаты, представители деловых кругов, члены общества советско-новозеландской дружбы.

<...> Теплую речь произнес один из новозеландцев, закончивший ее теми же словами, которые сто с лишним лет тому назад говорили новозеландцы, провожая русскую экспедицию Беллинсгаузена [она побывала здесь в 1821 г. — ЛМ.] — «Киа Ора!» (в добрый час, возвращайтесь к нам снова). Исключительно интересным было выступление студентов маорийского учительского кол-

леджа. Они танцевали и пели <...>, а накануне нашего отхода повторили свое выступление на палубе «Оби». С ответным визитом на борту «Оби» побывал премьер-министр Новой Зеландии.

Не обошлось и без некоторого курьеза. После осмотра судна и лабораторий у меня в каюте был устроен небольшой завтрак, <...> который проходил, как говорится, в непринужденной обстановке и несколько подзатынулся. Премьер-министр взглянул на стенные электрические часы и сказал: «Капитан, кажется, Ваши часы сильно отстают». Одного взгляда было достаточно, чтобы убедиться, что часы уже добрый час, как стоят. Электромеханик занялся ремонтом часов, никого не предупредив об этом. Но объяснять все это вряд ли было удобно. «Господин премьер-министр, — говорю я, — часы остановлены специально. Это старинный русский обычай: когда в доме дорогие гости, хозяин останавливает часы». Все весело смеются, завтрак продолжается. Какими путями эта шутка стала известна — не знаю, но вечерние газеты, перевозимые русское экспедиционное судно, не забыли упомянуть и о старинном русском обычае, видимо, приняв его всерьез.

В течение трех дней на борту «Оби» побывало более 5000 человек. Они оставили многочислен-

ные записи в книге посещений, свидетельствующие о большом уважении к нашей великой стране, о ее огромном авторитете.

Наши люди совершили замечательные экскурсии. Особенно довольны биологи, вернувшиеся из поездки на взморье, где они собрали прекрасные образцы, в том числе изумительно красивые раковины, переливающиеся всеми цветами радуги. Из этих раковин делается множество различных безделушек. Они украшают броши, булавки и пр. Из близлежащего маорийского городка пешком пришел старик-маори и принес изделия своих односельчан. Он категорически отказался от денег, а согласился только принять несколько папирос и почтовых марок. Пообедав, отправился в обратный путь. Из Роторуа маори прислали мне небольшую накидку из перьев птицы киви.

В заключение приведу здесь радиограмму, полученную после ухода «Оби» из небольшого городка Фимару (Тимару). «Командиру советского полярного корабля «Обь», Веллингтон.

Поздравляю с благополучным возвращением из моря Дэвиса и вашей успешной работой на поприще науки и мира. Приветствия также Карту, Гусеву, Авсюку и Шуйскому. Ким Ора! Благополучного возвращения домой! Дух Беллинсгаузена живет! Ральф Уиллер».

Продолжение следует

59 суток — такова самая короткая продолжительность жизни, ранее никогда не отмечавшаяся у позвоночного животного. Специалисты Университета им.Дж.Кука (Австралия) открыли, что миниатюрная рыба бычок-пигмей — обитатель коралловых рифов — должна размножаться в спешном порядке: в распоряжении самки не более 25 сут, чтобы успеть достичь половозрелости и выметать до 400 икринок.

Sciences et Avenir. 2005. №700. P.36 (Франция).

Полагают, что уровень моря у архипелага Тувалу, лежащего в Тихом океане между Австралией и Гавайскими о-вами, поднимется на 1.5 м в предстоящие 40 лет. Потрясенные опус-

тошительными штормами и подъемом уровня вод, 11 500 человек не видят другого выхода, как покинуть свои девять островов общей площадью 26 км². Правительство Новой Зеландии предоставляет им статус специального иммигранта и обещает ежегодно на протяжении последующих десятилетий принимать по 35 человек. Между тем сами жители этих крошечных островов ищут пути совместного переселения и проживания.

Sciences et Avenir. 2005. №700. P.56 (Франция).

Впервые станут предсказуемы сила и причиняемый ущерб от ураганов, ежегодно обрушивающихся (преимущественно в августе и сентябре) на Атлантическое побережье США. Бри-

танские специалисты из Университетского колледжа Лондона детально проанализировали характеристики ветров на высотах от 750 до 7000 м за более чем полувековой период. Шесть районов около американского континента в июле отличаются аномалиями, которые могут быть связаны с ураганами. Модель, созданная этими метеорологами, способна ретроспективно при высокой степени оправданности «спрогнозировать» силу ранее прошедших ураганов. Более того, модель смогла предсказать исключительный характер событий 2004 г., когда на США обрушилось пять ураганов, стоивших страховщикам более 20 млрд долл.

Sciences et Avenir. 2005. №701. P.44 (Франция).

Вспомогательное

Памяти академика В.А.Струнникова

9 декабря 2005 г. прервалась жизнь всемирно известного генетика, академика Российской академии наук Владимира Александровича Струнникова.

Судьба его — и научная, и человеческая — складывалась совсем не просто. Он прошел через разруху и голод после гражданской войны, вторую мировую войну с пленением и возвращением на фронт, испытал изнурительный страх перед репрессиями и пережил кошмар лысенковского правления. Но жизнь скрашивалась страстным увлечением наукой.

Завороженный еще в детские годы шелкопрядом, Владимир Александрович занялся генетическими исследованиями этого уникального объекта уже в студенческие годы. На четвертом курсе Ташкентского сельскохозяйственного института впервые познакомился с генетикой, прочитав учебник американских ученых, и понял, что у генетики большое будущее, а любовь к ней сохранил на всю жизнь. Еще во время дипломной работы он почувствовал страсть к открытию тайн природы и управлению ее процессами. Это был решающий момент в его жизни, определивший устремления и судьбу.

В годы лысенковщины генетика, которую Владимир Александрович считал самой перспективной и удивительной по красоте наукой, была растоптана. Растоптанной ему казалась и сама жизнь, так как главными в ней были генетические исследования. Но все проходит, закончились и гонения на генетику.

Уже после «реабилитации» генетики Владимир Александрович проводил такие работы на тутовом шелкопряде, результаты

которых приводили в изумление Я.Тадзиму, японского генетика с мировой славой, а способ получения в потомстве одних только самцов он считал за научно-фантастический рассказ.

Владимир Александрович, автор множества технических новшеств и большого числа разнообразных, подчас невероятных форм тутового шелкопряда, стал известен далеко за пределами нашего Отечества. Ученые Китая, страны, где разведением тутового шелкопряда для получения шелка занимаются около 5 тыс. лет, ездили к Струнникову постигать генетические премудрости выведения новых форм. Венцом генетических исследований стали два его метода: получение самцовых клонов и закрепление в потомстве гетерозиса. Ни к одному из этих методов, которые помогли бы человечеству прокормить себя, не распахивая целину, а сохранив природу нетронутой, академическая общественность не проявила интереса. Но несмотря на это, Владимир Александрович продолжал экспериментировать и изобретать. Несколько идей он записал, но не патентовал и даже не готовил к печати, так как надеялся дождаться более благоприятного времени для изобретательства в России.

Науку Владимир Александрович делал «с серьезным лицом», проверял и перепроверял схемы придуманных им скрещиваний и результаты опытов. Казалось бы, кропотливые генетические эксперименты не оставляли времени для каких-либо увлечений, но он успевал отдать им должное. Склонность к розыгрышам, проявившаяся в раннем детстве, сопровождала его всю жизнь.



**Владимир Александрович
Струнников.**
15.VII.1914 — 9.XII.2005.

Он сочинял сценарии розыгрышей еще в скупое на развлечения студенческое время. Такие «дурные наклонности» скрашивали жизнь, а зачастую позволяли бороться с несправедливостью и подлостью. Розыгрыши устраивались и зрелым ученым.

В нашем журнале Владимир Александрович опубликовал все свои обобщающие работы. Если слог его генетических статей и не отличался литературными изысками, то логика была «железной». Он отдал в наши руки и несколько своих несерьезных миниатюр для апрельского номера 2004 г., и в этот же год, год его 90-летия, рассказал нашим читателям о своей долгой, богатой перипетиями жизни. Мы гордимся, что такой неординарный человек и ученый был нашим автором.

**Редакция журнала
«Природа»**

Новости науки

Астрофизика

Второе рождение объекта Сакураи

Переменную звезду V4334 Стрельца часто называют объектом Сакураи — по имени японского любителя астрономии Юкио Сакураи (Yukio Sakurai), открывшего ее 20 февраля 1996 г. в момент внезапного усиления яркости. Строго говоря, объект Сакураи — уже не «полноценная» звезда. Это молодой белый карлик, т.е. состоящее из вырожденного вещества ядро солнцеподобной звезды, исчерпавшей термоядерное топливо. Примерно у 10–20% таких звезд превращение в белый карлик должно сопровождаться значительным увеличением блеска — так называемой «финальной» гелиевой вспышкой. Она происходит, когда в гелиевом слое, окружающем вырожденное ядро, начинается термоядерная реакция превращения гелия в углерод. Выделение энергии усиливается благодаря перемешиванию: вызванная горением гелия конвекция распространяется до внешней оболочки звезды и приносит в горящий слой водород, который становится дополнительным термоядерным топливом.

В целом процесс «вспышки» состоит из нескольких этапов, продолжительность которых, согласно имеющимся моделям, должна насчитывать не одно столетие. Но объект Сакураи отказался следовать предписанному сценарию. На нем связанные со вспышкой события произошли примерно в 100 раз быстрее — в течение всего лишь нескольких лет. По мнению автора одной из подобных моделей Ф.Хервига (F.Herwig; Калифорнийский университет, США),

ошибка моделирования связана с несовершенством учета перемешивания гелия и водорода. Применяя усовершенствованные методики, Хервиг и его коллеги существенно уточнили модель и сумели предсказать некоторые наблюдательные особенности объекта Сакураи, в частности быстрое повышение его температуры после окончания вспышки и постепенную ионизацию газа в окрестностях объекта. Эти особенности действительно были обнаружены в ходе наблюдений молодого белого карлика на радиотелескопе VLA (Very Large Array — Очень большая система).

Согласно обновленной модели, после нынешнего повышения температуры объект Сакураи ожидает в близком будущем еще один цикл охлаждения и разогрева, после чего он окончательно превратится в белый карлик. Предполагаемая продолжительность этого цикла — около 200 лет. Однако и в этот раз нельзя гарантировать, что события пойдут по намеченному графику. Фаза «последней» вспышки в слоевом источнике горения гелия очень кратковременна, и потому вероятность застичнуть звезду на этом этапе крайне мала. За всю историю астрономии подобное явление ученым удалось наблюдать лишь трижды.

Science. 2005. V.308. P.231 (США)

Астрономия

Впервые сделан снимок экзопланеты?

Все известные экзопланеты обнаружены косвенными методами — по колебаниям лучевой скорости звезды или по ослаблению ее света проходящей перед ней планетой. Эти методы неодно-

кратно проверены и взаимно подтверждены, однако астрономы предпочли бы, конечно, получить непосредственное изображение экзопланеты, что сделать чрезвычайно трудно: как правило, планета теряется в блеске родительской звезды. Чтобы частично разрешить проблему, астрономы сосредоточили усилия на очень молодых планетах — они намного горячее и ярче более старых объектов той же массы, и поэтому их легче обнаружить.

Весной 2005 г. сразу две группы астрономов сообщили о том, что первые снимки внесолнечных планет наконец получены. Точнее, первое сообщение о прямом наблюдении внесолнечной планеты было опубликовано еще в 2004 г. Международная группа астрономов с помощью 8.2-метрового телескопа VLT обнаружила крохотный красноватый объект вблизи молодого коричневого карлика 2M1207 из звездной ассоциации TW Гидры. Слабый компаньон, названный 2M1207b, оказался в 100 раз более тусклым, чем сам коричневый карлик. В его спектре сильные линии молекул воды, а значит, температура объекта невысока. Сопоставление общего распределения энергии в спектре и данных о спектральных линиях с результатами эволюционных моделей показало, что объект 2M1207b — это планета массой в пять масс Юпитера.

Критичным параметром расчетов является расстояние до объекта. Первооткрыватели 2M1207b исходили из того, что планета находится на том же расстоянии, что и коричневый карлик. Однако для подтверждения реальности связи между этими объектами требовались дополнительные наблюдения. Они были проведены той

же группой европейских и американских астрономов с помощью системы адаптивной оптики, установленной на 8,2-метровом телескопе VLT-Йепун, — такое устройство устраняет искажения, вносимые атмосферной турбулентностью, и позволяет делать очень четкие снимки в ближнем инфракрасном диапазоне.

Группа получила новые изображения в феврале и марте 2005 г. и по ним определила величину видимого движения коричневого карлика по небу и относительное положение компаньона¹. Наблюдения с высокой точностью для трех различных моментов (апрель 2004 г., февраль и март 2005 г.) доказали, что изменений в относительном положении двух объектов нет, т.е. оба объекта движутся в пространстве в одном направлении. Именно так и должно быть, если 2M1207b связан с коричневым карликом.

По мнению руководителя группы Г.Шовина (G.Chauvin; Европейская южная обсерватория), новая серия измерений убедительно свидетельствует, что объект 2M1207b — действительно спутник коричневого карлика 2M1207A, а значит, снимок, сделанный в 2004 г., на самом деле является первым изображением внесолнечной планеты. Это также первая планета, обнаруженная на таком большом расстоянии от центрального светила, — она удалена от карлика почти в два раза дальше, чем Нептун от Солнца.

Другая группа охотников за планетами, совершившая похожее открытие, проиграла команде Шовина всего пару месяцев, но зато открытый ими объект обращается не вокруг коричневого карлика, а вокруг «нормальной» молодой звезды GQ Волка, находящейся в облаке Lupus I — области звездообразования, расположенной в 4–5 сотнях световых лет от нас². Звезда GQ Волка — это, по-видимому, очень молодой объект, имеющий возраст от 100 тыс. до 2 млн лет, все еще окруженный диском. Астрономы наблюдали звезду GQ

Волка в июне 2004 г. на телескопе VLT-Йепун. Серия снимков четко обозначила наличие слабого компаньона всего лишь в 0,7'' от звезды. Если GQ Волка и ее слабый (в 250 раз слабее звезды) спутник действительно составляют пару, то расстояние между ними равно примерно 100 а.е.

Затем астрономы обнаружили, что звезда уже наблюдалась телескопом «Subaru» и космическим телескопом «Хаббл» в июле 2002 г. и апреле 1999 г. соответственно. На старых снимках также удалось определить координаты компаньона, что позволило точно измерить взаимное расположение двух объектов на интервале в несколько лет. Из этих измерений следует, что с 1999 по 2004 г. расстояние между ними не изменилось. Если бы слабый объект был объектом фона, отмечает руководитель группы Р.Нойхойзер (R.Neuhäuser; Йенский университет, Германия), мы увидели бы изменения в расстоянии между ним и звездой вследствие их собственного движения. С 1999 по 2004 г. расстояние между ними могло измениться на 0,15'', в то время как реальное изменение по крайней мере в 20 раз меньше.

В спектрах спутника GQ Волка видны типичные признаки очень холодного объекта, в частности, полосы воды и CO. Сравнение результатов наблюдений в инфракрасных лучах и спектральных данных с моделями атмосфер показало, что температура спутника заключена в пределах от 1600° до 2500°C, а его радиус в два раза больше радиуса Юпитера. К сожалению, традиционные теоретические модели дают оценку массы объекта от одной до 42 масс Юпитера, т.е. это может быть и планета, и коричневый карлик. Лучше всего для описания наблюдений подходит объект, имеющий массу в две массы Юпитера. Если этот результат подтвердится, то объект GQ Волка b станет самой молодой и самой яркой сфотографированной экзопланетой.

© Вибе Д.З.,

доктор физико-математических наук

Москва

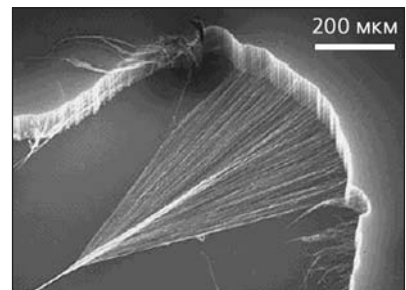
Химия. Технология

Пряжа из многослойных нанотрубок

Нити из углеродных нанотрубок представляют практический интерес из-за хороших электрических характеристик и высокой прочности. Однако в результате недавних экспериментов выявлено значительное снижение удельной прочности нити по сравнению с индивидуальной нанотрубкой. Это противоречит теоретическим оценкам, учитывающим упрочняющее действие трения между составляющими нить нанотрубками. Возможная причина расхождения теории и практики — несовершенство технологии: для изготовления нитей берут нанотрубки, длина которых соизмерима с толщиной нити.

Значительно повысить качество нитей удалось американским исследователям из Института нанотехнологий (Даллас). Они использовали многослойные нанотрубки диаметром ~10 нм и длиной ~100 мкм, выращенные перпендикулярно поверхности кремниевой подложки в виде похожего на щетку массива методом химического осаждения (катализатором служила пленка из железа толщиной 5 нм, источником углерода — ацетилен в смеси с гелием, синтез длился 10 мин при 680°C).

Процесс получения пряжи проходил в несколько этапов, подобно тому как это делается в классическом текстильном производстве: из массива нанотрубок (его диаметр ~200 мкм) вытягивали и скручивали нить диаметром ~1 мкм (с 1 см² заполненной на-



Вытягивание нити из нанотрубок.

¹ Astron. and Astrophys. 2005. V.438. PL25.

² Astron. and Astrophys. 2005. V.435. PL13.

нотрубками подложки удавалось получить до 50 м нити), а из нее скручивали более толстую пряжу с диаметром нити ~20 и 50 мкм. Прочность на разрыв исходных нитей составляла 150–300 МПа, но когда их скручивали в пряжу по две, увеличивалась до 250–460 МПа; при смачивании нитей поливиниловым спиртом этот показатель возрастал в три-четыре раза (к тому же улучшались электрические характеристики). Узлы на прочность не влияли. После снятия нагрузки с нитей и даже после их разрезания они сохраняли угол скручивания благодаря трению между нанотрубками.

Пряжа и текстильные изделия из углеродных нанотрубок могут использоваться в медицине (например, для питания искусственных мышц), а также в других изделиях, где необходим материал, обладающий высокой удельной прочностью в сочетании с пластичностью и электропроводностью.

Science. 2004. V.306. №5700. P.1358–1361 (США); http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5_08/index.htm

Генетика

Вида — два, морфология — одна

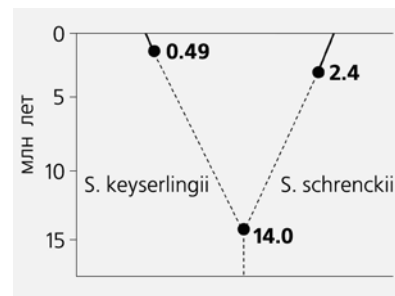
У сибирского углозуба (*Salamandrella keyserlingii*), несмотря на самый большой среди земноводных ареал, отсутствует географическая изменчивость морфологических признаков¹. Только для популяций Приморья зоологи отметили некоторое своеобразие углозубов, впрочем, не нашедшее отражения в таксономическом статусе. На всем остальном пространстве ареала (от тундр до степей и от Тихого океана до северо-запада европейской России) углозубы «одинаковы» — подвиды выделить не удастся. Предполагалось, что изменчивость, не отражаясь на морфологии, может проявляться на генетическом уровне. Подобные случаи генетической

¹ Берман Д.И. Идеальный приспособленец, или адаптивная стратегия сибирского углозуба // Природа. 2002. №10. С.59–68.

структурированности, казалось бы, монотипических видов, но на самом деле оказывающихся «сборными» (т.е. группой плохо морфологически различимых), описаны для ряда животных.

Д.И.Берман, М.В.Деренко, Б.А.Малярчук (Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан), А.П.Крюков (Биологический институт ДВО РАН, Владивосток), Т.Гржибовский и Д.Мишчицка-Шливка (Институт судебной медицины Медицинской академии им.Л.Рыдыгера, Быдгощ, Польша) проанализировали изменчивость нуклеотидных последовательностей гена цитохрома *b* митохондриальной ДНК (мтДНК) у 86 особей сибирского углозуба из пяти регионов: Чукотки, Магаданской обл., Сахалина, Приморья и Урала (окрестностей Екатеринбург). Результаты сопоставлены с подобными данными по различным видам и родам семейств Hynobiidae и Salamandridae, хранящимся в базе данных «GenBank». В качестве внешней группы в филогенетическом анализе использованы нуклеотидные последовательности гена цитохрома *b* представителей трех видов рода *Euproctus* семейства Salamandridae. Для этого рода есть к тому же палеонтологические данные, позволившие провести максимально корректную калибровку «молекулярных часов»: скорость накопления мутаций в гене цитохрома *b* оценена в 0.77% различий за 1 млн лет.

В исследованной выборке зарегистрировано 15 вариантов (гаплотипов) гена цитохрома *b*, группирующихся в два крупных кластера: один сформирован исключительно вариантами мтДНК углозубов из Приморья, второй включает гаплотипы из остальных региональных выборок. Приморские углозубы отличаются от всех прочих 81–96 мутациями (9.8–11.6% дивергенции мтДНК). Это соответствует уровню межвидовых различий, описанных для 16 видов семейства Hynobiidae. Таким образом, выводы зоологов о своеобразии приморских углозубов получили генетическое



Соотношение возрастов и времени дивергенции двух видов углозубов.

подтверждение; теперь они выделены в отдельный вид — *S.schrenckii*. Высокая внутривидовая изменчивость (1.86%) свидетельствует о значительном возрасте углозуба Шренка.

В остальной части ареала сибирского углозуба дивергенция мтДНК ничтожно мала: в объединенной магаданской, сахалинской, чукотской и уральской выборке она составляет всего лишь 0.38%. Низкий уровень не только морфологической, но и генетической изменчивости *S.keyserlingii* на огромном пространстве может быть следствием относительно быстрого формирования ареала в голоцене. Подобное стремительное расселение по Евразии в послеледниковье продемонстрировано, например, на результатах исследования филогеографической структуры большого пестрого дятла и других птиц. Так как углозубы вполне мирятся с низкими температурами и летом, и зимой, их ареал мог формироваться постепенно еще в холодные эпохи плейстоцена.

Соотношение полученных по «молекулярным часам» оценок возрастов, отражающих уровень внутривидовой изменчивости (углозуб Шренка — 2.4 млн лет, сибирский — 490 тыс. лет), и большая межвидовая дивергенция позволяют считать, что рассматриваемые виды соотносятся не как предок—потомок, а как два разновозрастных вида, предки которых отделились от общей ветви около 14 млн лет назад.

Морфологически углозуб Шренка и сибирский труднора-

Животные науки

личимы, не каждая особь в настоящее время может быть идентифицирована без использования молекулярных методов. Это обстоятельство оправдывает применение к углозубу Шренка понятия «криптический» (скрытый) вид. Углозуб Шренка в пределах России выявлен на юге Приморья и Хабаровского края; сибирский углозуб здесь не найден.

Полученные материалы подтверждают оправданность выделения *Salamandrella* в качестве самостоятельного рода. В семействе Hynobiidae роды отличаются друг от друга 14.4–20% дивергенции гена цитохрома *b*; для *Salamandrella* это значение составляет 15.5–18.8%.

Доклады Академии наук. 2005. Т.403. №3. С.423–429 (Россия).

Популяционная и эволюционная генетика

База кариологических данных о голосеменных

Число хромосом — один из важных диагностических признаков вида. Он часто используется в систематических и флористических исследованиях, а также при выяснении филогенетических связей между отдельными видами, родами и классами. Все большее значение кариологические исследования приобретают в селекционных работах и в интродукции, для сохранения генетических ресурсов.

Кариологическое изучение растений началось еще в XIX в., и к настоящему времени накопилось огромное количество такого рода информации. Для ее анализа в последние десятилетия широко применяются компьютерные технологии.

В Институте леса им.В.Н.Сукачева СО РАН (Красноярск) создается база кариологической информации о голосеменных растениях, схема которой строится на систематической иерархии класс—порядок—семейство—подсемейство (триба)—род—подрод—вид. Для каждой таксономической единицы дается небольшая морфологичес-

кая и кариологическая характеристика; для видов приводятся все числа хромосом в порядке возрастания, а также библиография. Информация хранится в электронном виде. Благодаря Системе управления базами данных «Access-2000» можно будет легко обновлять материалы (по мере необходимости), строить гистограммы распределения числа хромосом в пределах любой таксономической единицы, получать информацию обо всех видах с добавочными хромосомами (миксоплоидах и анеуплоидах) в пределах таксона любого ранга. Поскольку в банк данных вносятся все таксоны (как кариологически изученные, так и неисследованные), можно будет получить сведения о степени изученности каждого из них.

К настоящему времени база данных охватывает 650 видов растений (с указанием синонимов их названий), а библиографический список содержит около 1300 ссылок. Работа выполняется при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН №145 и проекта РАН 12.1 «Разработка научных основ мониторинга разнообразия лесов Сибири».

© Князева С.Г.,

кандидат биологических наук

Муратова Е.Н.,

доктор биологических наук

Красноярск

Вирусология

Реконструирован вирус «испанки» 1918 года

Все вирусы гриппа отличаются высокой скоростью распространения (инфекционностью) и время от времени вызывают эпидемии, порой охватывающие все континенты (пандемии). Однако человеческий грипп редко приводит к смерти (как правило, лишь престарелых и ослабленных людей). Но пандемия 1918 г. отличалась от всех предшествовавших и последующих очень тяжелым протеканием болезни и высокой смертностью среди молодых людей (вирулентностью). По разным оценкам, за один год от нее

погибло от 20 до 50 млн человек, что в 2–5 раз превосходит боевые потери за все четыре года на всех фронтах Первой мировой войны. В связи с тревогами по поводу возможного распространения среди людей эпидемии «птичьего гриппа» особо актуально выяснение причин столь высокой вирулентности вируса «испанки».

Группе американских ученых из Медицинского института Вооруженных сил США (Вашингтон) удалось реконструировать этот вирус, используя образцы тканей из сохраненного в формалине биоптата легочной ткани одной из жертв эпидемии 1918 г., а также из замороженных, не подвергавшихся фиксации тканей другой жертвы этой эпидемии, похороненной на Аляске в ноябре 1918 г. в вечной мерзлоте. Из обоих источников удалось изолировать лишь отдельные фрагменты вирусной РНК. Но расшифровка их нуклеотидных последовательностей позволила методами геной инженерии реконструировать полную РНК вируса, содержащую восемь белок-кодирующих генов, и охарактеризовать их генные продукты. Затем эти восемь генов были «сшиты» в полный вирусный геном штамма 1918 г. С помощью бактериальных плазмид эти последовательности внедрили в живые клетки и получили инфекционные вирусные частицы, способные размножаться в организме подопытных животных (мышей), в развивающихся куриных эмбрионах и в культурах клеток.

Сравнение действия на животных и культуры клеток разных вариантов рекомбинантных вирусов, полученных вставкой в геном обычного вируса гриппа отдельных генов вируса «испанки», позволило выяснить причины необычно высокой вирулентности штамма 1918 г. Геном «испанки» содержал кодирующие последовательности гемагглютинина и нейраминидазы, двух белков, участвующих в прикреплении вирусной частицы к клетке-мишени. Без прикреплении вирусные частицы не могут заражать клетки и тем са-

мым размножаться в тканях больного или в культурах клеток. При этом гемагглютинин должен быть активирован — энзиматически расщеплен. У других респираторных вирусов эту функцию выполняет протеолитический фермент трипсин, вырабатываемый в самом организме хозяина. У птиц и млекопитающих именно легочная ткань особо богата трипсином; в других тканях эти вирусы размножаются гораздо медленнее. Но вирус «испанки» мог расщеплять гемагглютинин с помощью кодируемой им нейраминидазы и реплицироваться в отсутствие трипсина.

Как полагают авторы работы, именно этим была обусловлена столь высокая летальность вируса 1918 г. В культурах клеток варианты вируса без фрагмента, кодирующего нейраминидазу, размножались лишь при добавлении трипсина. Полный реконструированный вирус действительно оказался, во-первых, высоковирулентным для мышей, намного превосходя в этом отношении все другие известные штаммы вирусов гриппа, и, во-вторых, мог размножаться в культурах клеток в отсутствие трипсина. Клиническая картина болезни и характер поражения легких у мышей были очень похожи на то, что описывали врачи и патологоанатомы у жертв пандемии 1918 г., и то, что наблюдали у людей, умерших в последние годы от азиатского «птичьего гриппа».

Результаты этого исследования открывают новые возможности поиска противовирусных препаратов, предназначенных для защиты от будущих эпидемий гриппа, подобных «испанке».

Science. 2005. V.310. №5745. P.28–29; 77–80 (США).

Этология

Пауки-скакунчики — двойное исключение

До недавнего времени на территории бывшего Советского Союза почти никто не занимался профессионально этологией пауков.

Последние семь лет такие исследования ведет азербайджанский ученый Е.Гусейнов совместно с новозеландскими коллегами¹. Изучение вида *Cyrbia algerina* (из семейства пауков-скакунчиков, Salticidae) в природных популяциях (Апшеронский п-ов, Азербайджан) и в лабораторных условиях (Новая Зеландия) позволило выявить несколько интересных особенностей их поведения, две из которых заслуживают особого внимания.

До сих пор считалось, что в умеренных широтах Евразии аранеофагия (поедание других, неродственных пауков) свойственна всего двум семействам — Mimetidae и Palpimanidae. Среди скакунчиков же такой тип питания был известен лишь у пауков тропического рода *Portia*. И вот оказалось, что *C.algerina* (относящиеся к тому же подсемейству, что и *Portia*) — тоже аранеофаги. И хотя их рацион гораздо разнообразнее, львиную долю (55%) в нем составляют именно пауки (в основном из семейства Oecobiidae). Кстати, исследователи, будучи этологами, не обратили внимания на то, что северные границы ареалов хищника и жертвы совпадают. Возможно, *C.algerina* не встречается севернее именно из-за отсутствия там подходящей пищи.

Кроме того, выяснилось, что *C.algerina* способны охотиться в полной темноте. Это удивительный факт: скакунчики обладают наиболее совершенными среди пауков глазами, и все известные виды этого семейства охотятся на свету, ориентируясь исключительно визуально. *C.algerina* почти никогда не наблюдали при солнечном свете — в природе они живут и охотятся под камнями, а на открытую поверхность выходят, очевидно, только ночью. Для ориентации они используют две передние пары ног, которыми совершают своеобразные «плавательные» движения.

© Марусик Ю.М.,

кандидат биологических наук

Магадан

¹ Guseinov E., Cerveira AM., Jackson RR. // New Zealand Journal of Zoology. 2004. №31. P.291–303.

Дыхание Амазонки

Тропические леса Амазонии часто называют «легкими планеты» — в ходе фотосинтеза здесь связывается огромное количество углекислого газа атмосферы и выделяется соответствующее ему количество кислорода. Менее известно широкой публике то, что практически весь этот кислород в тех же лесах расходуется на дыхание бактерий и грибов, а в некоторой степени — животных и даже самих растений, разлагающих органическое вещество. При этом в атмосферу снова выделяется весь углекислый газ, ранее связанный растениями. Но какова роль самой реки Амазонки в этом обмене CO₂ между сушей и атмосферой? На этот вопрос попыталась недавно ответить большая группа американских и бразильских ученых из Университета штата Вашингтон (Сиэтл) во главе с Э.Майоргой².

В течение 10 лет эти исследователи оценивали содержание разных форм углерода в Амазонке и ее притоках (от верховий до среднего и нижнего течения) и обнаружили, что река несет очень много этого элемента, причем не столько органического (взвешенного и растворенного), сколько неорганического (прежде всего в виде CO₂). Такой результат согласуется с ранее полученными данными³, согласно которым количество углерода, отдаваемое Амазонкой и ее притоками в атмосферу в виде CO₂, примерно в 10 раз превышает то, что сносится рекой в океан (причем как в органической, так и неорганической формах).

Очевидно, что растворенный в речных водах CO₂ образуется при разложении поступающего в реку органического вещества, но каков его возраст, образовалось ли оно в процессе фотосинтеза недавно или уже давно захоронено и постепенно вымывается

² Mayorga E., Aufdenkampe AK, Masiello CA et al. // Nature. 2005. V.436. P.538–545.

³ Richey J.E., Melack J.M., Aufdenkampe A.K. et al. // Nature. 2002. V.416. P.617–620.

в ходе эрозии древних почв и горных пород?

Майорга и его коллеги попытались оценить возраст взвешенного в воде органического вещества по содержанию стабильного изотопа углерода ^{13}C и радиоактивного изотопа ^{14}C (последний, имеющий период полураспада 5730 лет, образуется в атмосфере под действием космических лучей). Выяснилось, что на разных отрезках реки в нее поступает органическое вещество разного возраста. В самых верховьях, где интенсивно идет эрозия, оно представлено в основном керогеном — рассеянным, но устойчивым к разложению органическим веществом, содержащимся в почвах и подстилающих породах (его возраст — сотни и даже тысячи лет). Однако в среднем и нижнем течении углерод, видимо, выпадает в речные осадки, а в воде начинает резко преобладать молодое органическое вещество, образовавшееся за несколько последних лет.

Авторы работы полагают, что весь круговорот углерода, выходящего из реки в атмосферу в виде CO_2 , а затем связываемый в ходе фотосинтеза и высвобождаемый грибами и бактериями при разложении отмершего органического вещества, происходит в Амазонии примерно за пять лет.

© **Гиляров А.М.**,
доктор биологических наук
Москва

Гидрометеорология

Чтобы в море не тонули корабли

С древнейших времен и до наших дней безопасность мореплавания существенно зависит от гидрометеорологических условий, прежде всего от сильных ветров и штормовых волн. Качественные пространственно-временные прогнозы этих элементов могли бы заметно уменьшить число аварий и кораблекрушений. Однако успешность морских прогнозов осложняется практическим отсутствием систематических измерений и наблюдений

на открытых пространствах морей и океанов. Запросы практики удовлетворяются в основном справочными пособиями, которые составляются путем обобщения судовых измерений и наблюдений за достаточно продолжительные периоды в различных районах Мирового океана.

В самое последнее время появились исследования, использующие наиболее полные сведения об особо опасных и катастрофических гидрометеоявлениях в районах, представляющих интерес для морского, военного и рыболовного флотов. Так, обработана информация о ветровых волнах и зыби по северной части Тихого океана за 12 лет (1968—1979). По специальной методике произведен расчет осредненных — режимных — характеристик высот волн, их повторяемости по градациям, месяцам, сезонам и годам. Выявлены зоны наиболее опасного волнения, самая значительная из которых расположена на $25\text{--}45^\circ\text{с.ш.}$, $160\text{--}180^\circ\text{в.д.}$ Здесь повторяемость волн высотой 8 м и более (градация, относящаяся к особо опасным и катастрофическим гидрометеорологическим явлениям) составляет около 15%, преимущественно в зимние месяцы. Такие результаты, наглядно представленные в виде карт, диаграмм и таблиц, служат убедительным предостережением для судоводителей¹.

Самые опасные ураганные ветры и штормовые волны наблюдаются в районах образования и развития тропических циклонов, которые часто преобразуются в активные глубокие циклоны умеренных широт. В Гидрометцентре России создан банк данных об этих атмосферных вихрях во всех районах Мирового океана. Ураганы, тайфуны, тропические циклоны и циклоны отнесены к категории «тропические циклоны», число которых в банке составляет 2460 за 30 лет (1970—1999). Информация о них включает следующие параметры: название, координаты центра, время,

стадии развития, минимальное атмосферное давление, максимальная скорость ветра, радиус областей максимальных скоростей ветра. Установлены шесть районов зарождения тропических циклонов: три в Тихом океане (северо-запад, северо-восток, юг), два в Индийском (север и юг) и один в Атлантическом. Введена их классификация по скоростям ветра: 15—17 м/с — тропическая депрессия, 18—23 м/с — тропический шторм, 24—32 м/с — сильный тропический шторм, более 32 м/с — тропический циклон. Радиус максимальных ветров изменяется от 40 до 150 км, в его пределах скорости ветра изменяются от 18 до 36 м/с. Отмечены экстремальные скорости: 78 м/с в северо-западной части Тихого океана, 87 м/с в Атлантическом океане. Скорость перемещения центра циклона составляет в среднем 10 м/с, т.е. примерно 900 км/сут. Скорости максимальных ветров и скорости перемещения центров тропических циклонов независимы друг от друга. Атмосферное давление может опускаться до 720 мм. Из района в район тропические циклоны не переходят. Продолжительность существования тропических циклонов изменяется от нескольких часов до нескольких суток. Они возникают быстро, а затухают медленно².

На основе банка данных в Гидрометцентре рассчитаны нормативные средние за 30 лет параметры. Установлена связь этих параметров с особенностями атмосферной циркуляции и физико-географическими условиями в районах деятельности тропических циклонов. Например, циклоны северо-западной части Тихого океана чаще других выходят на островные и материковые области, представляя наибольшую опасность для густонаселенных местностей Японии, Кореи и Китая. Тропические циклоны Атлантики обычно преобразуются в активные глубокие циклоны умеренных широт, определяющие погоду Се-

² Добрышман Е.М., Иванидзе Т.Г., Кружкова Т.С., Макарова М.Е. // Метеорология и гидрология. 2002. №4. С.5—16.

верной Америки и Европы и, в частности, вызывающие штормовые нагоны Северного и Балтийского морей, в том числе наводнения в Петербурге. Большинство экстремальных параметров тропических циклонов приходится на Северное полушарие, что определяет их основной вклад в глобальный циклогенез¹.

Хотя составление пособий для мореплавания на основе осреднения многолетних гидрометеорологических материалов является основным методом, разрабатываются приемы и способы непосредственных измерений высот и периодов морских и океанских волн, например, по измерениям на сейсмических станциях. Специалистами предложен сейсмический способ мониторинга океанских циклонов и надежного определения характеристик атмосферных процессов².

© **Померанец К.С.**,
кандидат географических наук
Санкт-Петербург

Археология

Петроглифы азиатского Заполярья

Петроглифы на скалах Кайкульского обрыва чукотской реки Пегтымель — единственное в азиатской части России местонахождение рисунков древнего человека, расположенное за Полярным кругом. Открыты они были 40 лет назад геологом Н.М.Саморуковым, а затем исследованы и описаны археологом Н.Н.Диковым³. Из-за отдаленности и труднодоступности района мало кому удалось побывать в этом удивительном мире наскального искусства.

В июле—августе 2005 г. состоялась научная экспедиция на Пегтымель, в которой приняли участие сотрудники Института архео-

¹ Кружкова Т.С., Иванидзе Т.Г., Макарова М.Е. // Метеорология и гидрология. 2003. №9. С.16—21.

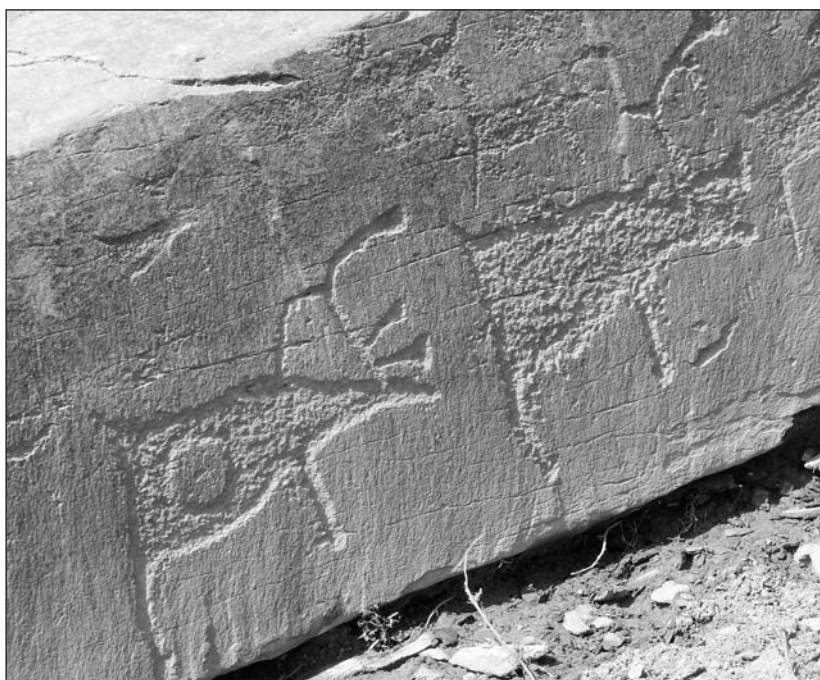
² Табулевич В.Н., Потапов В.А. и др. // Физика атмосферы и океана. 2005. Т.41. №4. С.571—576.

³ Диков Н.Н. Наскальные загадки древней Чукотки. Петроглифы Пегтымеля. М., 1971.



Скальный обрыв на р.Пегтымель с многофигурной композицией, изображающей пешую охоту.

Фото Е.Г.Дэвлет



В центре тщательно выполненной композиции, которую расчистили от слоя грунта археологи, — фигура оленя с солярным символом на его корпусе.

Фото Н.В.Караваява

логии РАН, Государственного НИИ реставрации, Кемеровского государственного университета и Государственного Эрмитажа. Она была инициирована и организована итальянской писательницей и пу-

тешественницей Стефанией Дзини. Цель экспедиции — всесторонне изучить изображения, выбитые и выгравированные на скалах обитателями Западной Чукотки. Сплошное обследование скальных

Звезда науки



Сцена охоты на северного оленя с лодки и транспортировки убитого животного (прорисовка Е.А.Миклашевич).

выходов позволило не только почти втрое увеличить количество основных групп и композиций древнего художественного творчества, но и составить электронное описание, сопровождаемое фотофиксацией, всех 270 выявленных камней с изображениями.

Новые объекты обнаружены от самых верхних ярусов скал до прибрежной линии. Два камня найдены даже в воде, куда они попали, наверное, под воздействием талых вод. Плоскости с интересными рисунками были скрыты и под толщей земли — раскопаны камни с изумительными по красоте и выверенности деталей изображениями. Один из камней, находящийся вблизи берега, привлек внимание своей особой формой, которая позволяет предполагать в нем подобие древнего алтаря. В центре тщательно выполненной на торце камня композиции — фигура оленя с солярным символом, представленным в виде круга с точкой (так маркировалось посвящаемое богам животное).

Северный олень — главный образ наскального искусства Кайкульского обрыва. С ним связаны важнейшие сюжеты, в которых отражены основные виды хозяйственной деятельности создателей памятника. Иллюстрируется,

например, своеобразный способ охоты на дикого оленя во время его сезонных миграций — животное бьют с лодки на переправе. Чаще всего запечатлен кульминационный момент: охотник, плывущий в одноместной лодке, поражает оленя копьем или гарпуном.

Охота с лодок на крупных и мелких обитателей моря — сюжет, отражающий приморский тип адаптации человека. Иногда в петроглифах различимы конструкции лодок; их высокий нос бывает украшен изображением звериной головы. Появление сюжетов морской охоты на скалах Кайкульского обрыва можно объяснить его относительной близостью к морскому побережью, население которого могло периодически подниматься вверх по реке для сезонной добычи оленя.

Реже запечатлена пешая охота с рогатиной на медведей и лосей, но в ходе последней экспедиции увеличилось количество и таких сцен. Весьма своеобразен памятник с изображениями персонажей, имеющих грибовидный силуэт над головой¹. Коллекция подобных рисунков тоже пополнилась.

Помимо обычных прорисовок на прозрачный материал и эстам-

¹ См. также: Дэвлет М.А. Пляшущие человечки // Природа. 1976. №9. С.115.

пажей, были сделаны копии-матрицы наиболее интересных камней с петроглифами. Применение современных реставрационных технологий позволяет проследить в деталях технику выполнения рисунков, а в дальнейшем — изготовить для выставочного экспонирования отливки, до мельчайших подробностей воспроизводящие особенности оригинала, труднодоступного для специалистов и всех интересующихся древним художественным творчеством. Еще один немаловажный позитивный аспект высокопрофессионального копирования изображений — возможность сохранить представление об оригинале в случае его утраты, а в настоящее время состояние скального массива не может не вызывать беспокойства: происходит вывал камней с изображениями, плоскости интенсивно зарастают лишайником и мхом, под которыми разрушается слой патины.

Работы 2005 г. показали, что исследовательская перспектива и ценность пегтымельских петроглифов чрезвычайно велики, и они нуждаются в дальнейшем систематическом изучении.

© Дэвлет Е.Г.,

доктор исторических наук
Москва

Народный герой, о котором пока не знает народ

А.Б.Михайловский,

доктор физико-математических наук

Институт ядерного синтеза РНЦ «Курчатовский институт»
Москва

Рецензируемая книга написана сыном одного из главных разработчиков советского ядерного оружия — Кирилла Ивановича Щелкина. К 1953 г. (еще при И.В.Сталине) он стал трижды Героем Социалистического Труда и трижды лауреатом Сталинской премии первой степени. Однако к концу 50-х Щелкин оказался в немилости у Хрущева. Ситуация с признанием его заслуг в работе над Атомным Проектом (АП) СССР, как в дальнейшем стала называться эпопея по разработке советского ядерного оружия, усугубилась его конфликтом с Е.П.Славским в бытность того первым заместителем министра Среднего машиностроения, по современной терминологии, «атомной отрасли». Затем на несколько десятилетий Славский стал «атомным министром». Ему хотелось стать лауреатом Ленинской премии, поэтому услужливые подчиненные включили его в список кандидатов на получение этой премии за разработку одной из важных модификаций водородной бомбы. Это аргументировалось тем, что он прекрасно знает соответствующий вопрос. Однако Щелкин вычеркнул Славского из списка, заявив, что «Ленинскую премию присуждают за творческий вклад в работу,

а не за знание вопроса». Такая принципиальность стоила Кириллу Ивановичу многолетнего забвения. Поэтому, когда через несколько десятилетий завеса секретности с АП была снята, Щелкин оказался «самым неизвестным из самых заслуженных». Одна из главных целей книги Ф.К.Щелкина — восстановление памяти о своем отце.

Книга дополняет и образы ряда других ключевых действующих лиц, и прежде всего научного руководителя АП И.В.Курчатова и изобретателя советской водородной бомбы А.Д.Сахарова, ставшего затем лауреатом Нобелевской премии мира, а также Ю.Б.Харитона, Я.Б.Зельдовича и Н.Л.Духова, которые, как и К.И.Щелкин, первыми в СССР были удостоены звания трижды Героев Социалистического Труда и трижды лауреатов Сталинской премии первой степени. В книге есть новая информация и о многих других участниках работы над АП.

Кроме того, в книге дается анализ морально-нравственных аспектов АП, включающий весьма содержательную попытку их переосмысления для будущего нашей страны. Этот анализ занимает в книге значительное место и выходит далеко за рамки биографии Щелкина. Можно сказать, что рецензируемая книга — это «две книги под одной



Ф.К.Щелкин. АПОСТОЛЫ АТОМНОГО ВЕКА. ВОСПОМИНАНИЯ И РАЗМЫШЛЕНИЯ.

М.: Дели принт, 2004. 152 с.

обложкой»: одна о Щелкине, а вторая — о морально-нравственных аспектах АП. Представляется, что «обе книги» станут откровением для современного читателя. Однако в настоящей рецензии мы будем комментировать лишь «первую книгу», разъясняя, кто такой Кирилл Иванович Щелкин.

Его научная карьера началась в 1932 г. с поступления на работу к Н.Н.Семенову, будущему лауреату Нобелевской премии по химии, в Институт химический физики, отпочковавшийся от знаменитого Ленинградского физико-технического института, возглавляемого А.Ф.Иоффе. Там Кирилл Иванович знакомится со своими будущими соратниками по АП, Харитоновым и Зельдовичем, а также с Курчатовым, который в то время работал в институте Иоффе. Тематика Щелкина — горение и детонация. Он достиг здесь выдающихся научных результатов, что подтверждается приводимыми в книге высказываниями Семенова, Харитона и Зельдовича.

В 1938 г. Кирилл Иванович защитил кандидатскую диссертацию по теме «Экспериментальные исследования условий возникновения детонации в газовых смесях». В 1941 г. он идет добровольцем воевать, а в январе 42-го его отзывают с фронта для работы над проблемами реактивных двигателей для авиации. В 1946 г. Щелкин защищает докторскую диссертацию.

Между тем в апреле 1946 г. был организован первый советский ядерный центр Арзамас-16 (теперь это Саров), называвшийся КБ-11. Цель — создание атомных бомб. При этом важнейшей экспериментальной задачей было сферически-симметричное обжатие плутония детонационной волной до давления в несколько миллионов атмосфер. Для решения этой задачи Курчатов привлек Щелкина в ранге заместителя Главного конструктора КБ-11. К тому времени американцы уже имели атомные бомбы. Более того, две

из этих бомб они уже сбросили на японские города Хиросиму и Нагасаки. Поэтому от того, решит ли Кирилл Иванович указанную задачу, и если да, то в какие сроки, зависело, удастся ли нашей стране избежать участи этих японских городов.

Начался один из самых драматических периодов в истории нашей страны и, пожалуй, самый драматический период в жизни Щелкина: работа по обжатию «металлического шара». «Одно из самых ярких воспоминаний моей жизни в КБ-11 в те годы, — вспоминает автор, — мощные взрывы, от которых подпрыгивал наш дом и звенели стекла. Ежедневно днем и ночью проводилось более 10 взрывов. Отец приезжал с работы поздно и ложился на диван в кабинете. Рядом с диваном у изголовья стоял стул, на стуле, практически около уха, ставился телефон. После очередного взрыва через некоторое время раздавался звонок, отец вставал, садился в дежуривший около дома «газик» и ехал на работу. Спать удавалось 4-5 часов в сутки, урывками. Утром всегда, точно к началу, он был на работе. О причинах такого режима работы отца через много лет, незадолго до своей кончины, рассказал мне Г.Н.Флеров (один из инициаторов и ключевых участников АП): «Я видел сам, как Кирилл бился над тем, чтобы с помощью взрыва шарового заряда из обычного взрывчатого вещества равномерно обжать металлический шар, помещенный в центр заряда».

«Каждый последующий взрыв, — рассказывал Флеров, — производился только после того, как Щелкин изучит результаты предыдущего и решит, какой из подготовленных натуральных макетов заряда подрывать следующим. Для этого каждый взрыв сопровождался уникальными измерениями, после расшифровки которых следовал в любое время дня и ночи звонок Щелкину. В этом и была причина его ночных поездок на работу».

И Кирилл Иванович не подкачал! Снова цитируем книгу: «К концу 1948 года, после множества неудач, поисков, через бесконечные изменения в чертежах шарового заряда... металлический шар сохранил после взрыва идеальную сферическую форму».

Это было венцом создания первой советской атомной бомбы. Она была взорвана 29 августа 1949 г. В связи со сказанным и с учетом печальной судьбы Хиросимы и Нагасаки небеспочвенными представляются цитируемые автором слова Сталина: «Если бы мы опоздали на один-полтора года с атомной бомбой, то, наверное, попробовали бы ее на себе».

А затем Щелкин, уже в ранге первого заместителя Главного конструктора КБ-11, вместе с другими своими соратниками из Арзамаса-16 изготавливал вторую, третью и ряд последующих советских атомных бомб, а позже реализовывал «изобретения А.Д.Сахарова» — советские водородные бомбы. Формально «первым лицом» в Арзамасе-16 был Харитон, занимавший должность Главного конструктора КБ-11. Однако, как ясно из контекста книги, фактическое руководство КБ-11 осуществлялось «танDEMом» Харитон—Щелкин. Это понимали и «наверху», откуда шли «постановления и распоряжения» с формулировками типа: «обязать... Харитона, Щелкина», «принять предложения Харитона, Щелкина», «поручить Харитону, Щелкину». Обо всем этом можно прочитать в рецензируемой книге. Но из-за ограниченности объема рецензии мы перевернем соответствующие страницы книги и перейдем к комментированию последнего этапа «атомной биографии» Щелкина — его работы по созданию второго советского ядерного центра — Челябинска-70, ныне называемого Снежинском.

Итак, читаем в книге:

«В середине 1954 года было принято решение создать вто-

рой ядерный центр. И.В.Курча- тов, приехав в Арзамас-16, соз- вал крупное совещание и, объ- вив об этом решении Прави- тельства, предложил назначить Научным руководителем и Глав- ным конструктором нового ядерного центра К.И.Щелкина».

А дальше события развива- лись так:

«Отец был назначен Науч- ным руководителем и Главным конструктором несуществую- щего пока Челябинска-70 и был приглашен первым заместите- лем министра Е.П.Славским на заседание Совета Министров, которое проводил Н.С.Хрущев для утверждения в должности. Никита Сергеевич начал заседа- ние в очень хорошем настрое- нии: «Я только что говорил с первым секретарем Челябинс- кого обкома, — сказал он, — и обо всем с ним договорился. Он отдает под завод новый большой цех ЧТЗ и обещал вы- делить из строящегося жилого фонда города Челябинска 10 процентов квартир для работ- ников нового объекта».

Отец стал объяснять, что в городе предприятие по произ- водству атомных и водородных бомб размещать нельзя. Хрущев не стал слушать и предложил с целью экономии средств при- нять его предложение. Щелкин был вынужден заявить, что в случае принятия этого реше- ния он просит освободить его от занимаемой должности, так как не считает возможным соз- дать объект в Челябинске. В от- вет на это заявление Хрущев сильно обругал Славского за плохие кадры, «которые счита- ют себя умнее всех», и объявил, что покидает заседание.

Он приказал Микояну про- должить заседание, сказав при этом: «Дай ему все, что он про- сит, через год я поеду на Урал, специально заеду на объект, и тогда он мне ответит за срыв специального правительствен- ного задания».

О роли Челябинска-70 в про- изводстве ядерного оружия ав- тор говорит словами академика

Л.П.Феоктистова, бывшего за- местителя научного руководи- теля этого ядерного центра:

«В 70-е годы из общего числа зарядов, находящихся на воору- жении армии, более двух третей было разработано в Челябинс- ке-70. При этом по численному составу наш коллектив был втрое меньше Арзамаса-16. Нас- колько мне известно, и до на- стоящего времени все комплексы ВМФ и ВВС оснащены исключи- тельно ядерными зарядами, раз- работанными в Челябинске-70».

«Вот так, — пишет далее ав- тор, — не зря Курчаков и Щел- кин создали новый ядерный центр, а отец пять первых, са- мых трудных лет становления коллектива вкладывал в него все творческие и физические силы, душу и сердце».

Теперь мы переходим к со- бытиям периода 1958—1960 гг. К этому времени уже был дос- тигнут паритет с США в ядерных вооружениях, т.е. «ядерный щит» был уже «выкован». Поэто- му Курчаков имел все основания заявить: «Народ может быть спо- коен. Оборона Родины теперь надежно обеспечена».

«Морально Курчаков сдал оружейную вахту, — пишет да- лее автор. — Можно целиком от- датся работе над воплощением в жизнь самой большой своей мечты: «Превратить синтез ядер водорода из оружия разрушения в могучий, живительный источ- ник энергии, несущий благосос- тояние и радость всем людям на Земле». На самом представи- тельном форуме страны — XXI съезде КПСС в феврале 1959 го- да — свое выступление Курчаков посвящает управляемой термо- ядерной реакции. <...> Наконец, в 1959 году московским инсти- тутом Курчакова получены ас- сигнования (на управляемый термоядерный синтез) и сделан очень важный (и для нашей семьи) шаг. Щелкин был пригла- шен Курчаковым в его московс- кий институт возглавить экспе- риментальную часть исследова- ний по термоядерному синтезу. Он с радостью согласился».

Однако не тут-то было! «Пос- кольку должности Щелкина — научный руководитель и Глав- ный конструктор Челябинска- 70 — были номенклатурой ЦК, Хрущев отказал Щелкину, не от- пустив его с работы в Челябинс- ке-70».

«Отец демонстративно ло- жится в больницу на обследова- ние с целью оформить инвалид- ность. А уж причин получить при желании инвалидность у Щелкина и Курчакова хватило бы на четверых. <...>

В феврале 1960 года, когда отец лежал в больнице, внезап- но умирает Курчаков. Отец тя- жело перенес смерть друга. Рез- ко ухудшилось здоровье. В сен- тябре он увольняется». После увольнения Щелкин переехал в Москву.

Я встречался с ним как в Че- лябинске-70, где работал с 1959 по 1961 г., так и затем в Москве, где я был вначале аспирантом, а затем сотрудником теорети- ческой группы «Курчаковского института», возглавляемой М.А.Леонтовичем. Моей тематикой была (и остается до сих пор) физика высокотемператур- ной плазмы и проблема управ- ляемого термоядерного синте- за, называемая в обиходе «тер- моядом». Мы часто беседовали с Кириллом Ивановичем о тер- мояде. Лейтмотив наших бесед был примерно таков. Его инте- ресовало, когда «поезд термо- ядерной науки», вышедший ког- да-то со станции «термояд-меч- та», дойдет до станции «термо- яд-реальность». Я же отвечал, что этот «поезд» пока проходит через множество «мелких стан- ций» по территории «физики плазмы», и перспективы его прихода в указанный «конечный пункт» пока представляются ту- манными.

Однажды Щелкин «пересека- ся» с М.А.Леонтовичем. Были вы- боры в Академию наук СССР. М.А. (академик) был член- ом счетной комиссии, а К.И. (член-корр.) в это время прибо- лел и находился дома. Леонто- вич ездил с избирательной ур-

ной к Щелкину домой, чтобы тот проголосовал. В связи с этим Кирилл Иванович сказал мне: «А твой начальник весьма демократичен: “обычные” академики не ездят на дом к членкоррам».

В ноябре 1968 года Кирилл Иванович умер. «На поминках отца — 12 ноября 1968 г. — Харитон подошел ко мне и матери и предупредил: “Если вам что-нибудь понадобится, никогда не обращайтесь в Министерство, там вам не помогут”. Я был очень удивлен, так как ничего не знал, стал интересоваться и из нескольких источников восстановил причину предупреждения Юлия Борисовича... Полного молчания (напрашивается — “гробового”) в атомной отрасли “удостоили” четыре юбилея отца — 50, 60, 70 и 80 лет. “Вспомнили” только о

90-летнем. Сорока четырех лет забвения стоил отцу всего один мужской поступок».

Щелкин — это истинно народный герой. Ему есть что конкретно предъявить народу, — об этом мы кратко упомянули выше, а более подробно можно почитать в книге. Напомним, что он, в частности, изготовил несколько первых советских атомных бомб, руководил (совместно с Харитоном) первым советским ядерным центром Арзамас-16 и создал второй советский ядерный центр Челябинск-70. Но случилось так, что до сих пор народ не знает о нем. Книга его сына, Ф.К.Щелкина, безусловно, будет способствовать тому, чтобы народ узнал о своем герое.

Нынешние же руководители атомной отрасли должны каким-то образом покаяться за

«грехи» предшественников по замалчиванию Щелкина. (Например, это могло бы выразиться в сборе дополнительных архивных материалов.) Пока же можно констатировать, что в отношении книги о Щелкине, как и в случае с самим Кириллом Ивановичем, руководители атомной отрасли хранят молчание. И хотя книга вышла уже вторым изданием, реакции на нее до сих пор нет. К этому следует добавить, что книга выпущена малоизвестным издательством, не имеющим никакого отношения к атомной отрасли. (Честь и хвала этому издательству!) Между тем, Щелкин — это не только народный герой, но и гордость атомной отрасли. Поэтому сохранение памяти о нем важно не только для народа в целом, но и для атомной отрасли. ■

Химия

М.М.Левицкий. О ХИМИИ СЕРЬЕЗНО И С УЛЫБКОЙ. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 287 с.

Химия — необычайно эффективная наука: яркие цветовые переходы; интенсивно окрашенные, изящно ограненные кристаллы; вспышки; фейерверки. Это наиболее известная внешняя сторона химии, но есть и ее красота, заключенная внутри самой науки. О ее разных гранях нетривиально и увлекательно рассказывает автор, пытаясь пробудить интерес к логическому построению, научить нестандартно мыслить, раскрепостить фантазию. Ему удалось показать, что объекты для исследования (не обязательно химического) есть повсюду, даже в повседневном бы-

ту. Закономерности, скрытые в изучаемых исследователем явлениях, по существу представляют собой задачи, которые предлагает сама природа. Но ответ не обязательно искать с помощью трудоемких экспериментов, громоздких вычислений и знакомства с обширной справочной литературой. Иногда, чтобы найти правильное решение, надо проявить просто сообразительность. Решение подобных задач — увлекательный и интересный процесс.

Автор не отделяет химию от других наук и разных сторон человеческой деятельности. Он предлагает учиться рассуждать, решая одновременно некоторые математические, физические и... бытовые задачи, а затем переходить к обобщениям. Знакомство с общими законами,

по которым развиваются все естественные науки, поможет, считает автор, выработать читателю свое отношение ко многому, происходящему вокруг, научит разбираться в потоке сомнительных, псевдонаучных фактов, поставляемых газетами и телевидением.

Химия — наука серьезная, но сами химики не упускают случая взглянуть на свою работу с улыбкой. И автору это прекрасно удалось. Он написал книгу в форме занимательных бесед и сопроводил множеством иллюстраций, в основном шуточных. Приведенные в ней интересные примеры и истории могут привлечь внимание школьников к изучению естественных наук, а преподавателям средних школ позволят сделать занятия более увлекательными.

Гидробиология

Н.М.Коровчинский. ВЕТВИСТОУСЫЕ РАКООБРАЗНЫЕ ОТРЯДА СТЕНОПОДА МИРОВОЙ ФАУНЫ (морфология, систематика, экология, зоогеография). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 410 с.

Долгое время все ветвистоусые ракообразные традиционно объединялись в единую группу — отряд или подотряд Cladocera, о которой в последнее время сложились весьма противоречивые мнения. Stenopoda могут рассматриваться как одни из наиболее примитивных Cladocera. Несмотря на более чем 200-летнюю историю изучения, многие вопросы, касающиеся морфологии, классификации, географического распространения этого отряда ракообразных, остаются совершенно недостаточно разработанными.

Ветвистоусые ракообразные, или кладоцеры (Cladocera), обитают преимущественно в континентальных водах, как пресных, так и соленых, — от временных луж и скоплений воды в дуплах деревьев и пазухах листьев до крупных озер, иногда живут и в морях. В массовых количествах эти животные часто встречаются в водных сообществах (планктоне, нейстоне, бентосе, сложных фитофильных ценозах) и служат важным фактором формирования качества воды. По типу питания среди них различают первичных и вторичных фильтраторов, хищников, трупоедов и эктопаразитов. В свою очередь большинство кладоцер входит в рацион многих хищных беспозвоночных, рыб и других водных и околководных позвоночных. Остатки кладоцер хорошо сохраняются в донных отложениях водоемов, поэтому их используют для изучения истории развития экосистем.

Имеющиеся в обиходе определители по ветвистоусым ра-

кообразным или безнадежно устарели и малоинформативны, или малодоступны российским гидробиологам. Поэтому необходимо было создание новых руководств, отвечающих современным требованиям.

Вышедшая книга — первая в мировой практике полная сводка по ветвистоусым ракообразным отряда Stenopoda мировой фауны, играющим нередко ведущую роль в сообществе континентальных и морских вод. Описаны внешнее и внутреннее строение ракообразных, биология размножения, жизненные циклы, поведенческие особенности, географическое распространение и фауногенез. Особое внимание уделено рассмотрению стратегий защиты ктенопод от хищников. В главе по систематике обобщены данные по ревизии отряда, приведены таблицы для определения родов и видов и иллюстрированные описания последних.

Зоология

А.Н.Тихонов. МАМОНТ. Вып.3. М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. 90 с. (Из сер. «Разнообразие животных».)

Первый выпуск из научно-популярной серии «Разнообразие животных», инициатором которой стал Зоологический институт РАН, вышел в 2003 г. и называется «Гидра: от Абраама Трамбле до наших дней» (рецензию см.: Природа, 2004. №7). Второй — посвящен городским комарам (аннотацию см.: Природа, 2005. №7). Герой третьего выпуска — мамонт — один из немногих вымерших видов животных, о внешнем облике и строении тела которых есть надежные и полные сведения. Этого зверя мы можем увидеть в музее в виде чучела или мумии благодаря изумительной сохранности

мягких тканей в мерзлой земле Сибири и Аляски.

По геологическим часам исчезновение мамонта на планете Земля произошло совсем недавно, и до сих пор нет четкого объяснения, почему же он вымер. Одни считают, что мамонты — жертвы человека. Другие приписывают их гибель Всемирному Потопу, наконец, третьи полагают, что это результат потепления и увлажнения климата. Прочтя эту книгу, читатель узнает, каким был мамонт, в каких условиях он обитал и как складывались его взаимоотношения с человеком каменного века, а также ознакомится с мнением специалистов о том, можно ли воссоздать живого мамонта методом клонирования.

В мире опубликованы сотни книг и прекрасно иллюстрированных альбомов, рассказывающих о жизни и причинах вымирания ископаемых зверей, многие из которых посвящены мамонту. В России же было издано всего несколько брошюр о мамонтах, которые моментально становились бестселлерами, а наиболее информативная и хорошо иллюстрированная книга известного русского ученого В.Е.Гарутта (1964) была опубликована только на немецком языке. Поэтому автор надеется, что его книга найдет своего читателя среди русскоязычной аудитории.

Основная задача этой книги — привлечь внимание широкой общественности к проблемам сохранения находок мамонтов и других плейстоценовых зверей в мерзлоте. Все мамонтоведы объединены в составе Мамонтового комитета РАН, который базируется в Санкт-Петербурге в здании Зоологического института. Они очень заинтересованы в том, чтобы все находки этих вымерших животных попадали к ним, а за особо уникальные обещают вознаграждения.

Небесный Единорог

А.В.Кузьмин,

кандидат физико-математических наук

Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН
Москва

Единорог, отличающийся быстротой и силой, — самый поэтический образ фантастического животного мира. Первое известное упоминание о нем содержится в *Индики* Ктесия V в. до н.э. О единороге писали также Плиний, Солин, Элиан, многочисленные упоминания о нем присутствуют в ветхозаветных книгах.

Самые ранние изображения единорогов встречаются еще в 3-м тысячелетии до н.э. Они представляют собой один из наиболее значимых священных образов. Единороги присутствуют на печатях, найденных в культурных слоях 2300—1750 гг. до н.э. в Мохенджо-Даро и Харappe. В Греции и Риме единорога считали реально существующим или по крайней мере существовавшим в Индии или Африке животным. Согласно *Физиологу* (II—III в. н.э.), единорога может приручить только чистая девушка. Более поздняя христианская традиция связала единорога с Девой Марией и Иисусом Христом...

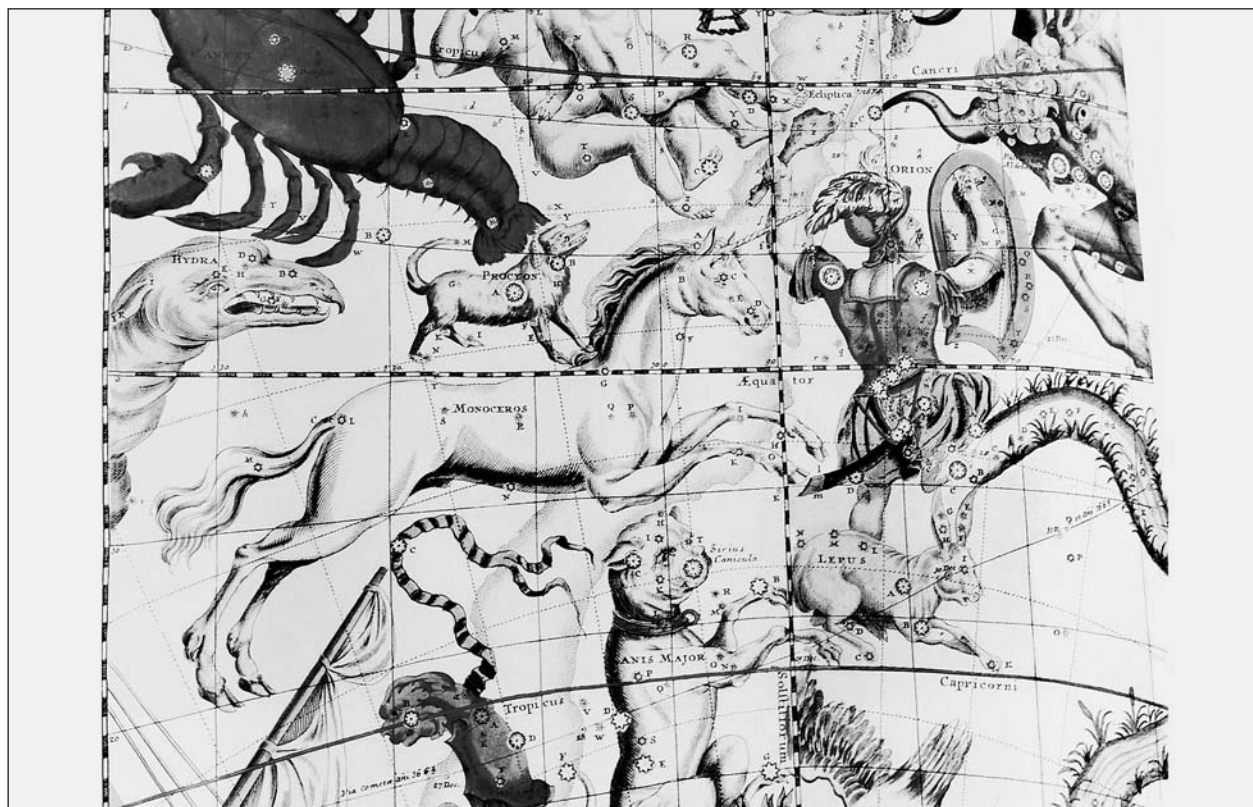
На интуитивном уровне созвездие Единорога представляется очень древним, хотя стало появляться на небесных картах лишь с XVI в. Изображение этого персонажа, одного из самых загадочных и древних, появилось там, где нет ярких звезд. Несмотря на это, область небесного Единорога достаточно приметна. С юга к нему примыкает созвездие Большого Пса с самой яркой звездой неба — Сириусом. С севера — Малый Пес со звездой Процион. С запада — Орион. С востока — начало созвездия Гидры. Единорог оказывается в самом центре очень красивой звездной композиции, которая в северном полушарии хорошо видна зимой в южной части неба. Основная часть фигуры Единорога оказывается прямо внутри Зимнего треугольника, вершины которого обозначены яркими звездами — Бетельгейзе (α Ориона), Проционом (α Малого Пса) и Сириусом (α Большого Пса).

Загадочный образ то ли мифического, то ли полумифического зверя помещен в столь же загадочную, почти непроявленную заметными звездами область ночного небосклона, к тому же пересеченную зыбкой белесоватой полосой Млечного Пути.

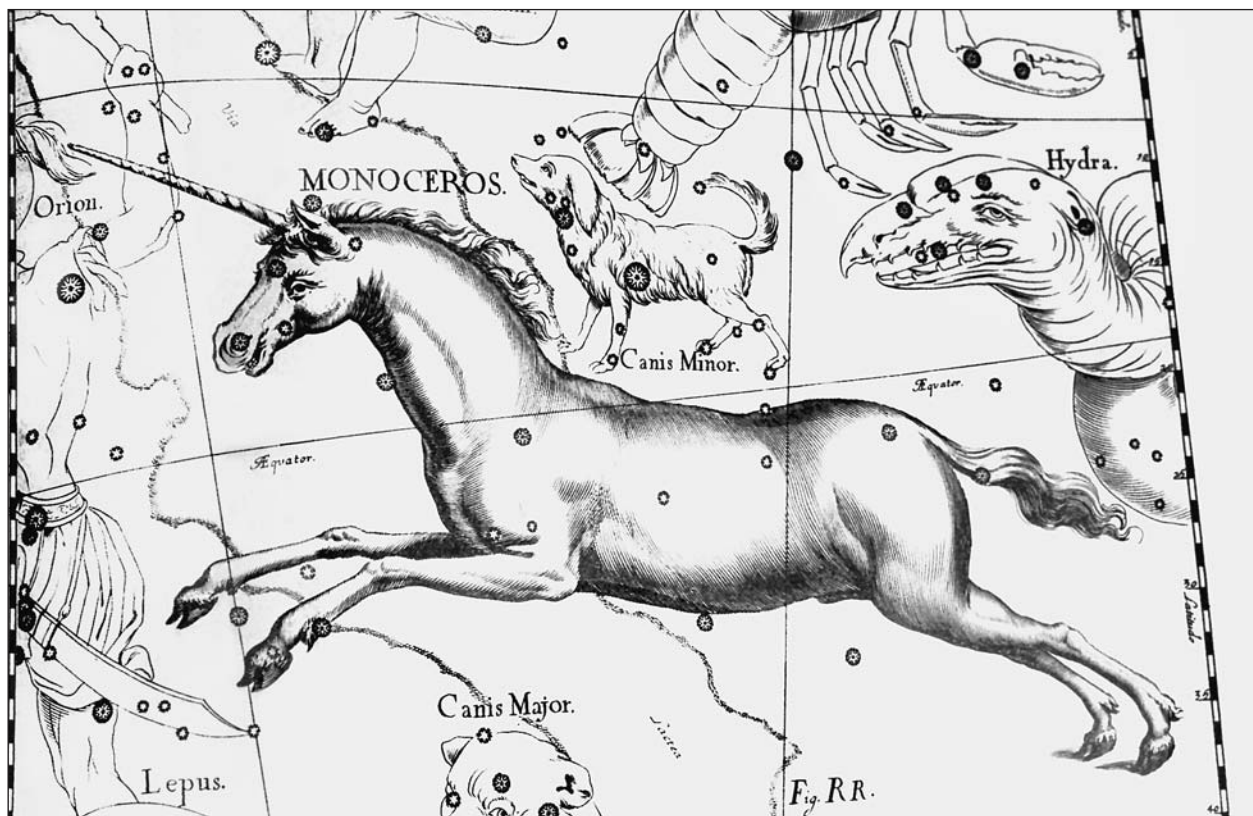
В чаще леса около глубокого озера некогда жили прекрасные единороги. Они были похожи на серебристых лошадей, но с длинным и острым рогом на лбу. В нем и таилась сила этого волшебного зверя. В самый разгар ночи, когда все вокруг замирало, единорог, когда его никто не мог видеть и слышать, подходил к озеру, преклонял колено и опускал рог в воду. В тот же миг вода в озере становилась целебной, помогающей от всех болезней и ядов. На рассвете к озеру приходили звери и слетались птицы. Люди тоже могли найти к нему дорогу, но алчных, жестоких и лживых единорог не подпускал к лесу своей магической силой.

Устроившим облаву наконец удалось окружить его на краю пропасти, но в следующий миг дивный зверь вознесся над скалами и исчез из вида, навсегда скрывшись от людских глаз. Лишь иногда, когда в лес приходит юная девушка, чистая в своих помыслах, то ей может явиться единорог и, ласково опустив голову на плечо, исполнить самые заветные желания... В позднем Средневековье единорог превращается в самого верного друга, спутника и слугу прекрасной дамы.

Единорога считали наделенным исцеляющей силой. Именно поэтому гравюры с его изображением украшали медицинские книги. Их также часто помещали и на рыцарские гербы как символ бесстрашия и преданности. Созвездие Единорога впервые появляется в 1598 г. на небесном глобусе П.Планциуса в экваториальной области неба одновременно с 12 созвездиями южной, ненаблюдаемой в античности области звездной сферы. Новое созвездие возникло на звездной



Созвездие Единорога. Й.Доппельмайер. 1729 г.



Зеркальное изображение звездного неба. Я.Гевелий. 1687 г.

карте незадолго перед появлением на ней вновь открываемых при помощи телескопа звезд, и именно единорог стал главным символом глубокого интуитивного художественного предвосхищения уже стоящего на пороге истории открытия огромного числа никому неведомых ранее звезд ночного неба.

А что же теперь? В наше время единорог чаще всего становится символом творческого вдохновения, нередко оставляя свой след в литературных произведениях:

*«Святой поднялся, обронив куски
Молитв, разбившихся о созерцанье:
К нему шел вырвавшийся из преданья
Белесый зверь с глазами, как у лани
Украденной, и полными тоски.
В непринужденном равновесье ног*

*Мерцала белизна слоновой кости
И белый блеск, скользя по шерсти, тек,
А на зверином лбу, как на помосте,
Сиял, как башня в лунном свете, рог
И с каждым шагом выпрямлялся в росте.
Пасть с серовато-розовым пушком
Слегка подсвечивала белизной
Зубов, обозначавшихся все резче,
И ноздри жадно впитывали зной.
Но взгляда не задерживали вещи:
Он образы метал кругом,
Замкнув весь цикл преданий голубой».*

Р.М.Рильке (пер. К.Богатырева)

Таков наиболее древний и загадочный символ, воплотившийся в образе созвездия лишь в конце XVI в. и сохранный на карте неба до наших дней. ■

Литература

1. Гевелий Я. Атлас звездного неба. Ташкент, 1970.
2. Средневековый Бестиарий. М., 1984.
3. Бахтина Е.Н. Книга звезд. М., 1997.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 13.01.2006
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 1035
Набрано и сверстано в редакции

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