

ПРИРОДА

2001 6



В НОМЕРЕ:**Связь времен****3 Захаров В.Е.****«Ненужные» лучшие люди**

Многие из лучших людей России после революции ушли в эмиграцию и составили там славу мировой науки.

10 Янковский Н.К., Боринская С.А.**Наша история, записанная в ДНК**

Успехи в изучении генетического разнообразия людей привели к появлению новых научных направлений – молекулярной антропологии и палеогеномики.

18 Басов И.А.**«ДЖОИДЕС Резолюшн»: рейсы продолжаются****24 Гудков Б.С., Субботин А.Н., Якерсон В.И.****Температурный гистерезис в гетерогенном катализе**

Чем объяснить этот эффект, возникающий в небольшом числе химических реакций? Похоже, что один тип гистерезиса – «против часовой стрелки» – связан с локальным перегревом центров катализатора.

Калейдоскоп**30**

Новый проект океанологических исследований США (23). – Вулкан на аргентино-чилийской границе (30). – Каменные орудия первых американцев (31). – Кругосветные плавания бактерий в балластных цистернах судов (31). – Массовая гибель грифов (31). – Ладьи древних египтян и индейцев (77). – Реакция фитопланктона на колебания CO₂ в атмосфере (77).

Вести из экспедиций**32 Маккавеев П.Н., Холмс Р.М.****Сколько азота несут сибирские реки?****38 Юнович А.Э.****Свет из гетеропереходов**

В наступившем веке на смену традиционным лампам накаливания скорее всего придут светодиоды – более экономичные и надежные осветители.

47 Калякин В.Н.**Современный и прошлый ареалы снежного барана****51 Панов Е.Н.****Межвидовая гибридизация у птиц: эволюция в действии**

Свободная межвидовая гибридизация овсянок – исключение из общего правила поведенческой изоляции, не позволяющего скрещиваться особям разных видов.

60 Уфимцев Г.Ф.**Гималаи. Самые высокие, прекрасные и загадочные**

В морфологическом и геологическом строении Гималаев – самой высокой в мире горной страны – наблюдается причудливое переплетение разнородных геодинамических процессов.

Заметки и наблюдения**67 Болотский Ю.Л., Алифанов В.Р.****Там, где жил амурозавр****Лекторий****70 Островский М.А., Сакина Н.Л., Федорович И.Б., Чеснов В.М.****Физики и световая чувствительность глаза****Новости науки****78**

Рандеву с Эросом состоялось. **Вибс Д.З.** (78). – Похоже, океан на Марсе был (79). – CO₂ в атмосфере: ситуация и перспективы (79). – Есть кремниевый светодиод! (80). – Ассигнования на науку в США увеличены (80). – Микро-челюстные – новый класс беспозвоночных. **Малахов В.В.** (81). – Кормилицу для кукушат выбирают самки (81). – Снежные мегадюны Антарктиды (83). – Австралийская наука выходит в океан (83). – Гренландский ледник и климат Земли (84). – В Риме найдены остатки портовых сооружений (84).
Объявления (9, 69)
Коротко (17)

Рецензии**85 Бородаев Ю.С.****Подарок геологам и филателистам****Новые книги****90****Встречи с забытым****92 Баскина В.А.****О геологе Наталье Кинд**

CONTENTS:

Links of Time

3 Zakharov V.E.

«Unnecessary» Best People

Many of Russia's best people emigrated after the Revolution and became world-renowned scientists elsewhere.

10 Yankovsky N.K. and Borinskaya S.A.

Our History Recorded in DNA

Advances in research on genetic diversity of people have generated new areas of study: molecular anthropology and paleogenomics.

18 Basov I.A.

JOIDES Resolution: Cruises Continue

24 Gudkov B.S., Subbotin A.N., and Yakerson V.I.

Temperature Hysteresis in Heterogeneous Catalysis

What can explain this effect occurring in quite a few chemical reactions? One type of hysteresis known as «counterclockwise» appears to be due to local heating of catalytic centers.

Kaleidoscope

30

A New Project in US Oceanographic Research (23). – A Volcano at the Argentina-Chile Border (30). – Stone Tools of the First Americans (31). – Circumnavigation of Bacteria in Ballast Tanks of Vessels (31). – Mass Extinction of Vultures (31). – Rowboats of Ancient Egyptians and North American Indians (77). – Phytoplankton Reaction to CO₂ Variations in the Atmosphere (77).

News from Expeditions

32 Makkaveev P.N. and Holmes R.M.

How Much Nitrogen Is Carried by Siberian Rivers?

38 Yunovich A.E.

Light from Heterojunctions

This century, the traditional incandescent bulbs are most likely to give way to light-emitting diodes – a more economical and reliable light source.

47 Kalyakin V.N.

The Present and Past Geographical Ranges of Bighorn Sheep

51 Panov E.N.

Interspecific Hybridization of Birds: Evolution in Action

Free hybridization of two species of buntings is an exception to the general rule of behavioral separation, which precludes the crossing of individuals belonging to different species.

60 Ufimtsev G.F.

The Himalayas: The Highest, Beautiful, and Enigmatic

The morphological and geological structure of the Himalayas, the highest mountains in the world, shows an intricate combination of varied geodynamic processes.

Notes and Observations

67 Bolotsky Yu.L. and Alifanov V.R.

Where the Amurosaur Lived

Lectures

70 Ostrovsky M.A., Sakina N.L.,

Fedorovich I.B., and Chesnov V.M.

Physicists and the Light Sensitivity of the Eye

Science News

78

A Rendezvous with Eros Was Successful. **Wiebe D.S. (78)**. – It Looks Like There Was an Ocean on Mars (79). – CO₂ in the Atmosphere: Status and Prospects (79). – Here Is a Silicon LED! (80). – US Funding for Science Has Been Raised (80). – Micrognathostomes: A New Class of Invertebrates. **Malakhov V.V. (81)**. – The Foster Mother for Young Cuckoos Is Chosen by Females (81). – Antarctic Snow Megadunes (83). – Australian Science Comes into the Ocean (83). – Greenland Glacier and Earth's Climate (84). – Remains of Port Structures Found in Rome (84).
Advertisements (9, 69)
In Brief (17)

Book Reviews

85 Borodaev Yu.S.

A Gift to Geologists and Philatelists

New Books

90

Encounters with the Forgotten

92 Baskina V.A.

About Geologist Natalya Kind

«Ненужные» лучшие люди

В.Е.Захаров

В 30-е годы прошлого века английский философ и историк Арнолд Тойнби предложил рассматривать глобальный исторический процесс как возникновение, расцвет, борьбу и упадок слабовзаимодействующих между собой локальных цивилизаций. Анализируя письменную историю человечества, Тойнби насчитал около двадцати таких цивилизаций. На извечный вопрос, принадлежит ли Россия Востоку или Западу, Тойнби давал ясный ответ: Россия находится в процессе создания собственной цивилизации, и эта цивилизация имеет большое будущее. Интересно, что данное мнение было сформулировано уже после революции и гражданской войны, во время самого разгара власти большевиков. Как видно, даже мрачные реальности 30-х не могли зачеркнуть для Тойнби успехов, которых достигла Россия за предшествующие два столетия интенсивного культурного развития.

Тойнби умер в 1973 г. Доживи он до наших дней, его взгляд на Россию не был бы таким лестным для нас. Сегодня многие западные социологи видят в России редкий в



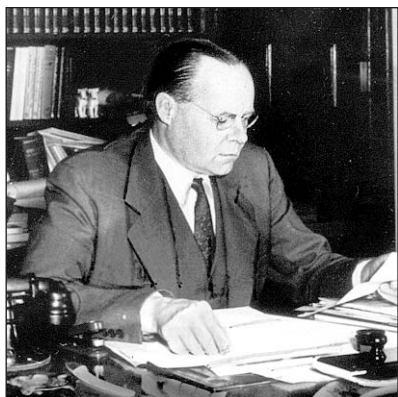
Академик Владимир Евгеньевич Захаров, доктор физико-математических наук, директор Института теоретической физики им.Л.Д.Ландау РАН. Область научных интересов — математическая физика, теория плазмы. Поэт, неоднократно публиковался в «Новом мире».

истории пример общества, которое движется от цивилизации назад, к более примитивным формам социальной жизни. Признаками этого служат деиндустриализация (вымывание из сферы производства высоких технологий), превращение экономики в откровенно сырьевую, коррупция, общее огрубление нравов, падение интереса к культуре, расцвет всяческого шарлатанства. В этих условиях многие лучшие умы и таланты эмигрируют, а оставшиеся склонны впасть в уныние. Взгляни Тойнби на сегодняшнюю Россию, он бы

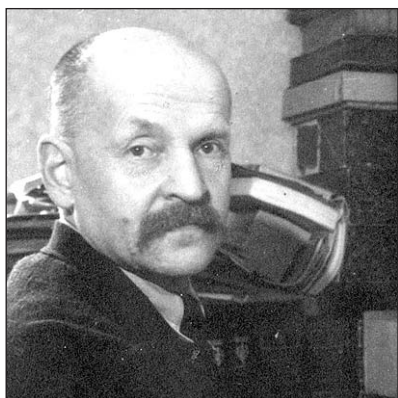
скорее всего сделал вывод, что эта страна упустила свой исторический шанс, что российская цивилизация по большому счету не состоялась. Перешла в состояние упадка, миновав желанную фазу «цветущей сложности».

Сейчас трудно судить, насколько справедлив подобный пессимистический взгляд на будущее. Однако пессимизм сегодня полезен нам как горькое, но необходимое лекарство. Если что и противопоказано нам, так это бездумный оптимизм, жертвой которого наша страна как раз и стала в недавнем прошлом.

© В.Е.Захаров



О.Л.Струве (1897-1963).



В.А.Костицын (1883-1963).



Я.Д.Тамаркин (1888-1945).



Г.А.Гамов (1904-1968).

По мысли Тойнби, главной движущей силой каждой цивилизации служит ее культурная элита — узкий слой людей, наделенных талантом и энергией. Эти люди владеют культурными ценностями своей эпохи и ясно осознают свою миссию. Каждый из них занимает собственное место в истории, каждый уникален и незаменим и стоит многих тысяч посредственностей. Возможность самореализации таких людей в качестве культурных и духовных лидеров общества есть необходимое условие возникновения цветущей цивилизации. К сожалению, Россия слишком часто обращалась со своими лучшими людьми с непонятной бесчувственной жестокостью. Предсмертные слова Блока: «Россия съела меня, как глупая чушка своего поросенка», — можно отнести к очень многим. Слишком часто на месте подлинных «культурных героев», как кукушата в чужом гнезде, оказывались самоуверенные малообразованные полунинтеллигенты, равнодушные к собственному народу и всегда готовые простить себе собственные действия. Слишком часто подобные люди, чурящиеся серьезной работы и критической самооценки, предлагали стране в качестве панацеи от всех бед очередную утопию. Но речь здесь пойдет не об этом, а как раз о тех, настоящих, лучших людях. О состоявшихся героях недосостоявшейся российской цивилизации.

Московское издательство «УРС» выпускает книгу, которая называется «Русская научная эмиграция. Двадцать портретов». Она состоит из биографических очерков о выдающихся ученых разных специальностей, которые эмигрировали из России после революции и стали знамениты на Западе. Российская общественность мало

знает о них. В течение советского периода их имена не популяризовались или вовсе были под запретом. Казалось бы, историческая справедливость должна быть восстановлена после краха советской власти и установления в России свободы выражения мнений. Однако ирония истории состоит в том, что, когда это случилось, русское общество оказалось настолько погружено в политические игры и настолько увлечено идеей быстрого обогащения, что вообще потеряло интерес к науке и ученому. Принято считать, что это издержки «переходного» периода, но более правильно видеть в этом явлении один из симптомов общего кризиса, поразившего наш социум.

Сегодня, кажется, перестала быть очевидной аксиома, утверждающая, что наука есть важнейшая, неотъемлемая часть каждой развитой цивилизации. Тем, кто сомневается в этом, следовало бы просто вспомнить, чьи лица изображены на банкнотах основных европейских стран — Великобритании, Франции, Германии, Италии. Половина портретов принадлежит великим ученым. Среди них — Гаусс, Фарадей, супруги Кюри и многие другие. Это очень продуманный выбор.

Наука отличается от литературы тем, что она формулирует высказывания на универсальном языке и плохо признает государственные границы. Кроме того, научный процесс исторически непрерывен. Он напоминает строительство огромного здания. Раз положенные камни не только остаются навечно, но и становятся опорой для новых этажей. Вне всякого сомнения, физика XX в. есть прямое продолжение Архимеда, а математика — продолжение Евклида. Подобное лишь с большими

оговорками можно сказать об искусстве. Оценка культурных достижений любой конкретной страны по ее науке есть хотя и суженный, но верный критерий. Потому европейцы и помещают своих ученых на банкноты.

Мы же, как всегда, ленивы и нелюбопытны. Между тем российская наука — это уникальный культурный феномен. Она появилась благодаря реформам Петра, но к моменту его смерти, в 1725 г., науки в России еще не было, хотя была уже Академия наук. А ведь к этому времени Западная Европа имела в активе (если считать от Коперника) почти двести лет непрерывного развития науки в современном смысле слова. Российская наука смогла преодолеть этот временной лаг и в начале XX в. была уже вполне на уровне европейской. Конечно, несмотря на отдельные выдающиеся достижения (Менделеев, Павлов), она была еще на вторых ролях. Хотя не уступала американской науке, в это время достаточно провинциальной. Главное же состояло в том, что в российской науке того времени содержался колоссальный внутренний потенциал. Он был настолько велик, что несмотря на всю мясорубку гражданской войны, несмотря на все крайности большевистского режима, который подвергал гонениям и физически уничтожил ряд выдающихся ученых, наука к середине 30-х годов сумела в основном восстановить свои позиции. Это и было одним из главных аргументов для Тойнби, который оценивал перспективы российской цивилизации в то время вполне позитивно. И хоть и не хочется говорить банальности, но потом был и первый спутник, и первый человек в космосе. Был, правда, и лысенковский разгром биологии. Конечно, большевики прида-

ли развитию науки уродливый характер, стремясь поставить ее на службу идеологии и военно-промышленного комплекса. Это им удалось лишь отчасти. Наука научилась притворяться. Она прикидывалась служанкой режима, но стремилась жить по собственным законам. Кстати, наука это делала искони, во всех странах мира, и делает до сих пор. Несмотря на окончание холодной войны, наука в США до сих пор финансируется в существенной мере за счет военных.

Хорошо известно, что история не имеет сослагательного наклонения. Но все-таки интересно иногда пофантазировать, что представляла бы собой сегодня российская наука, если бы — даже после революции и гражданской войны — в стране установился более или менее нормальный политический строй. Это и есть сверхзадача новой книги, к созданию которой причастен и автор этих строк.

Прямая задача ее более скромна. Она рассказывает о путях жизни и судьбах двадцати из множества российских ученых, покинувших свою страну из-за неприятия нового общественного порядка, из-за страха перед репрессиями или просто из желания иметь нормальные условия для работы.

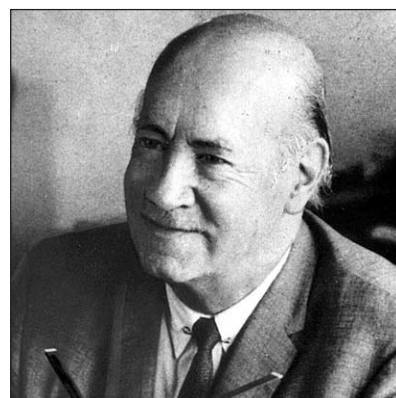
Первая российская эмиграция была огромным общественным явлением. Полное число эмигрировавших тогда составило около 2 млн человек. Среди них были сотни более или менее известных ученых. Полный список этих людей далеко не составлен. Даже в вышедшей в 1997 г. фундаментальной «Золотой книге эмиграции» (издательство «РОССПЭН») не упоминаются многие известные имена (например, основателя и директора Института физики в Турине Г.В. Ватагина). Поэтому двадцать — это



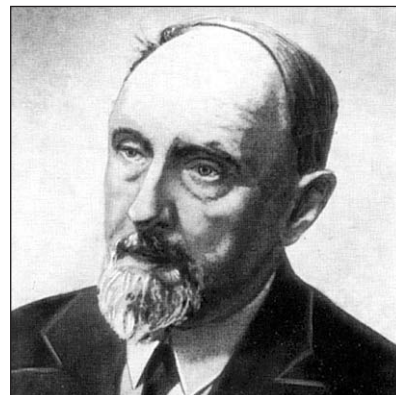
В.К.Зворыкин (1889-1982).



С.П.Тимошенко (1878-1972).



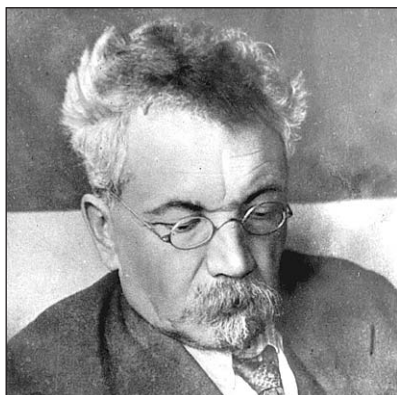
И.И.Сикорский (1889-1972).



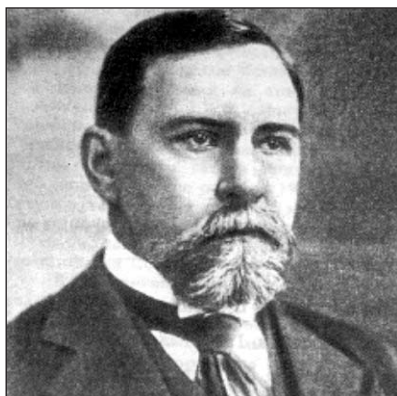
Д.П.Рябушинский (1882-1962)



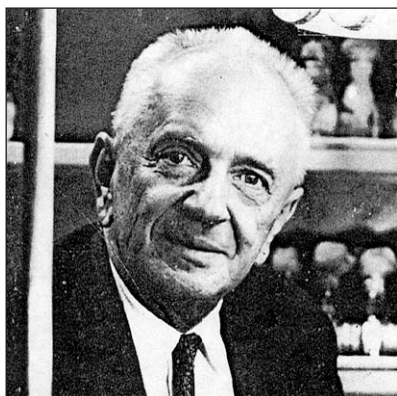
Г.Б.Кистяковский (1900-1982).



А.Е.Чичибабин (1871-1945).



В.Н.Ипатьев (1867-1952).



Ф.Г.Добжанский (1900-1975).

случайное число. Набор персоналий легко мог быть увеличен в два или три раза.

Сегодня русская культурная общественность достаточно хорошо понимает масштаб вклада постреволюционной эмиграции в русское искусство и литературу. Сегодня имена Набокова, Ходасевича, Георгия Иванова, не говоря уж о Шагале, Кандинском, Стравинском, Шаляпине, Бунине и многих других, у всех на слуху.

Гораздо хуже обстоит дело с осознанием масштаба успехов эмигрантской науки. Это можно объяснить не только равнодушием нашего общества к науке. Ученые, в силу специфики их деятельности, гораздо глубже погружены в узкопрофессиональную среду. В отсутствие института, подобного Академии наук, они вынуждены общаться главным образом с коллегами по специальности. Поэтому их успехи, даже весьма значительные, имеют меньше шансов стать известными широкому кругу интеллигенции.

Основную идею книги можно сформулировать следующим образом. Всем известно, сколь определяющую роль в советской науке сыграли такие ученые, как Капица, Ландау, Курчатов, Королев, Несмеянов. Однако люди отнюдь не меньшего масштаба ушли в эмиграцию. Там они, как это им и положено, стали признанными лидерами, основателями новых научных направлений и новых отраслей промышленности.

Приступая к перечислению героев книги*, легче начать с тех, чья деятельность можно охарактеризовать

очень кратко, буквально в нескольких словах. Тогда на первом месте должен стоять В.К.Зворыкин. Владимир Козьмич Зворыкин изобрел электронное телевидение. Да, именно так. Именно он создал передающую электронную трубку и дал ей знаковое название — иконоскоп. Он же создал в США в 30-е годы первую в мире работающую систему телевидения, позволившую в 1936 г. начать там регулярные телепередачи. Если принять во внимание роль, которую телевидение сегодня играет в мире, Зворыкина можно по праву считать одним из людей, определивших лицо 20-го столетия. Недаром на специальном приеме, который был дан в его честь президентом США, Зворыкина назвали «самым ценным подарком, который был сделан Россией Соединенным Штатам».

Другая, также культовая, фигура — Игорь Иванович Сикорский. Этот человек создал современное вертолетостроение. Свой первый вертолет он построил в Киеве в 1910 г. в возрасте двадцати одного года. Его S-47 стал единственным боевым вертолетом, применявшимся во второй мировой войне. В промежутке между этими датами Сикорский построил множество самолетов — сначала в России («Илья Муромец»), а потом и в США. И он первым в мире начал строить серийные вертолеты. В известном романе В.Аксенова «Остров Крым» фигурируют «Сикоры», состоящие на вооружении армии республики Свободный Крым. Реально «Сикоры» (около двадцати моделей) составляют основу вертолетного флота США.

Надо сказать, что авиация и авиастроение были в большой чести в предреволюционной России. Авиация привлекала сердца многих моло-

* Со многими из них читатели «Природы» уже знакомы. С 1998 г. журнал начал публиковать очерки, теперь вошедшие в сборник «Русская научная эмиграция». Мы надеемся, что в дальнейшем нашу рубрику «Возвращение» украсят новые замечательные имена. — Примеч. ред.

дых людей. Часть из них осталась в России, чтобы создать в будущем отечественную авиационную промышленность. Другая часть закономерно оказалась за рубежом. Перелистывая «Золотую книгу эмиграции», мы находим имена авиационных инженеров российского происхождения, совершенно неизвестных в России. Среди них — Окерман, Захарченко, Исламов, Картвели, Корвин-Круковский, Сергиевский, Струков, Фан-дер-Флит.

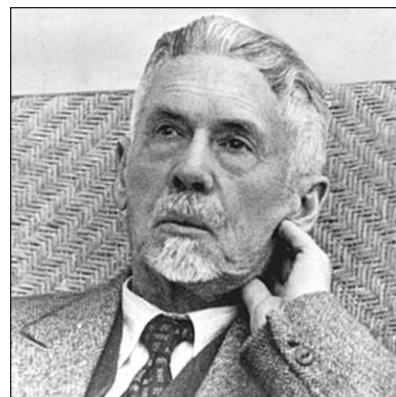
Очерки об этих людях не попали в издание, о котором идет речь. Читатель найдет в нем, однако, статью о Дмитрие Павловиче Рябушинском. Один из восьми братьев в знаменитой семье промышленников и банкиров, он, увлекшись в молодости авиацией, отказался от карьеры финансиста и основал в своем имении Кучино под Москвой первый в мире прекрасно оснащенный экспериментальный Аэродинамический институт. Его научным руководителем стал Н.Е.Жуковский. За короткое время Институт получил широкую известность. Однако его основатель, директор и (выражаясь нынешним языком) спонсор в 1918 г. чудом избежал расстрела и эмигрировал за границу. Здесь он прожил долгую жизнь в качестве одного из ведущих профессоров Сорбонны. В России упоминание о нем тщательно изгонялось отовсюду.

Рябушинскому особенно не повезло с признанием на родине. Виной, конечно, его фамилия и семейные связи. Но и в целом отношение советской власти к ученым-эмигрантам было негативным. Худшим, чем к литераторам и музыкантам. Музыка Рахманинова исполнялась в Консерватории, пластинки Шаляпина можно было купить в магазине. Кое-что из стихов и рассказов Бунина

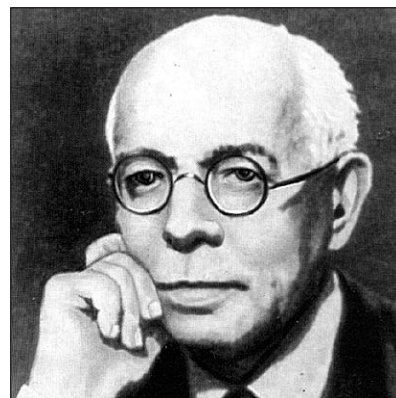
издавалось и при Сталине. О Сикорском же (кстати, близком друге Рахманинова) всегда умалчивали. При этом власть достаточно хорошо понимала истинное значение этих людей. Зворыкину в тридцатые годы несколько раз разрешили посетить Советский Союз и даже делали предложения остаться. Зворыкин отклонил эти предложения.

Очень интересно проследить взаимоотношения ученых-эмигрантов с ведущей научной организацией страны — Академией наук СССР, прежде Императорской Санкт-Петербургской академией наук. Издавна в Академии были предусмотрены иностранные члены. Среди них можно найти крупнейших ученых мира, и в их числе Эйнштейна. Казалось, естественно было бы избирать иностранными членами ученых российского происхождения, живущих и работающих за границей. Однако такие случаи были чрезвычайно редки. Их буквально можно перечислить по пальцам. Причем из пяти известных случаев четверо избранных — это дети эмигрантов, родившиеся во время или после революции. Известен только один случай, когда иностранным членом академии был избран ученый-эмигрант, составивший себе имя в дореволюционное время. В 1928 г. иностранным членом АН СССР стал крупнейший специалист по строительной механике, сопротивлению материалов и теории упругости Степан Прокофьевич Тимошенко.

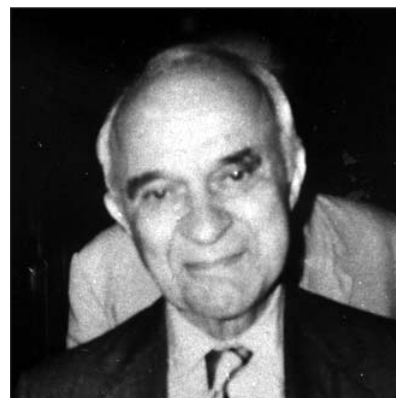
До революции он был профессором сначала в Киеве, потом в Петрограде. В 1922 г. он, уже очень известный 50-летний ученый, попал в США, где мало кого знал и где мало кто знал его. Америка в то время еще не была великой научной державой, ее уро-



С.Н.Виноградский (1856-1953).



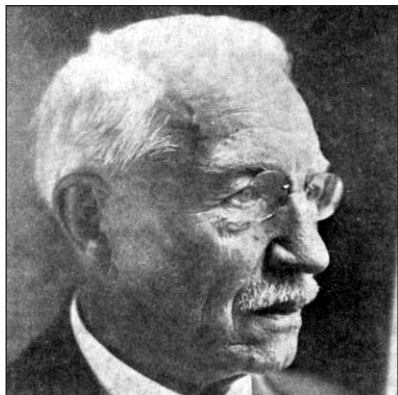
Б.П.Уваров (1888-1970).



В.В.Леонтьев (1905-1999).



Р.О.Якобсон (1896-1982).



П.Н.Миллюков (1859-1943).



М.И.Ростовцев (1870-1952).



А.Н.Грабар (1896-1990).



Г.В.Вернадский (1887-1973).

вень в области компетенции Тимошенко был по сравнению с европейским, да и российским, вполне провинциальным.

До революции в России все интеллигентные люди, тем более профессиональные ученые, знали иностранные языки — немецкий, французский, но знание английского считалось обязательным только для моряков. Поэтому Тимошенко (как и многие другие) попал в Америку «без языка» и вначале испытывал трудности. Как он их преодолел, можно судить по следующему эпизоду. В 1992 г. я встретился в США с президентом Университета в Кларксоне, который тогда был признанным центром нелинейной математической физики. На банкете президент заявил мне, что он ученик Тимошенко и что такими считают себя большинство специалистов по прикладной теории упругости и строительной механике в США. Дело в том, что Тимошенко написал в эмиграции, уже по-английски, несколько фундаментальных учебников по своему предмету. Их, к счастью, потом переводили на русский язык и печатали у нас. Они и подняли уровень этой области в Америке на новую ступень. По ним до сих пор учатся американские (да и русские) студенты.

С.П.Тимошенко прожил долгую жизнь и умер в 1972 г. в возрасте 94 лет. К этому времени он стал живой легендой и был известен в России. Этого нельзя сказать о нескольких других ученых, пользовавшихся в США и в мире сравнимой известностью. В их числе — Отто Людвигович Струве, последний в семье знаменитых в России астрономов, правнук основателя Пулковской обсерватории.

В отличие от Тимошенко, он приехал в США не извест-

ным профессором, а недоучившимся студентом, прошедшим гражданскую войну в качестве офицера белой армии. Также без английского языка. В 1963 г. он умер, будучи уже более 10 лет президентом Международного астрономического союза. Очерк об О.Л.Струве — один из особенно заметных.

Замалчивание славы Струве в России можно объяснить его политической ориентацией. Это, конечно, не единственный случай. В России очень мало известно имя историка Михаила Ивановича Ростовцева. Между тем это был специалист по истории античности, сравнимый по известности, например, с Теодором Моммзенем. Перед революцией он был активным членом партии кадетов. Статья о Ростовцеве — «Скифский роман» — с блеском написана академиком Г.М.Бонгард-Левиным, инициатором появления настоящей книги.

В случае с Ростовцевым мы снова касаемся взаимоотношения ученых-эмигрантов и Академии наук. Ростовцев был избран полным академиком после Февральской революции, летом 17-го года. Конечно, это было признанием его выдающихся заслуг. В 1925 г. он получил кафедру истории в Йельском университете, одном из самых престижных в США, тем не менее в 1929 г. его торжественно исключили из Академии вместе с другим экономистом и историком П.П.Струве.

Тема исключения из Академии ученых-эмигрантов заслуживает особого разговора. В момент революции Академия была маленькой, весьма аристократической организацией, состоявшей из 47 полных членов. Большинство из них встретили революцию без всякого энтузиазма. Академия наук традиционно пользовалась в России

авторитетом, и большевики некоторое время не особенно вмешивались в ее дела. Престарелые академики умирали, и своим чередом, очень вяло, шли выборы. После революции часть академиков оказалась за границей. До поры до времени их никто не трогал.

Один из героев книги, опять основатель целой научной дисциплины, почвенной микробиологии, Сергей Николаевич Виноградский, член-корреспондент с 1894 г., после эмиграции в 1923 г. был переведен в почетные члены. Это звание, ныне не существующее, было по сути ниже звания члена-корреспондента и никак не соответствовало уровню этого выдающегося ученого. Все же в этом качестве он пробыл до конца своей долгой жизни (Виноградский скончался в 1953 г. в возрасте 97 лет).

Советское государство всерьез заинтересовалось Академией наук в 1929 г. Прошли беспрецедентно широкие выборы. Академия почти удвоилась в размере. Тогда же из нее были «вычищены» эмигранты, оставшиеся к тому времени в живых, в том

числе Ростовцев и Петр Струве. С этого момента Академия стала важным элементом советской государственности.

Выезды за границу хотя и не прекратились, но стали строго регламентироваться, и эмиграция приобрела характер уже не драмы, а подлинной трагедии.

В книге даны краткие биографии трех выдающихся ученых, членов Академии, эмигрировавших после 1929 г. На первом месте здесь стоит колоссальная фигура В.Н.Ипатьева. Крупнейший химик, технолог, организатор химической промышленности, он был еще дореволюционным академиком и генералом старой армии.

Сразу после революции перейдя на сторону большевиков, он сделал чрезвычайно много для советской власти. Он сделал очень много и для науки и технологии вообще. Фактически он был одним из отцов современной химической промышленности. Тем не менее и его вскоре исключили из Академии. Несмотря на солидные годы, этот могучий человек прожил в США фактически новую жизнь. И умер в глубокой

старости профессором университета в Чикаго, весьма уважаемым и состоятельным. Очень жаль, что даже интеллигенту в сегодняшней России его имя говорит очень мало.

О двух других «невозвращенцах», исключенных из Академии, известно больше. Я имею в виду Алексея Евгеньевича Чичибабина и Георгия Антоновича Гамова. По учебнику органической химии Чичибабина училось несколько поколений студентов, а ярчайшая фигура Гамова, соперничавшего по таланту с Ландау, известна всем физикам и биологам. Но может быть, здесь следует остановиться.

Вообще же наша наука — наши богатство и слава. Мы создаем ее, и мы же ее растрачиваем. По иронии истории это богатство постоянно оказывается в руках самоуверенных недоучек, которые твердо знают одно — они могут с наукой делать все, что хотят. Такими были большевики, таковы и нынешние реформаторы.

Только история покажет, кто из них более безжалостен к науке. ■

В «Вестнике АсЭкО»:

- лучшие традиции образования и передовые обучающие технологии;
- материалы для расширения кругозора детей, родителей, учителей;
- совместная работа детей, родителей и учителей всех стран, контакты по всему миру;
- обзоры литературы и аннотации новых изданий;
- сценарии спектаклей для экологического театра;
- информация о конференциях, семинарах, олимпиадах, конкурсах, отечественных и международных проектах;

ПОДПИСКА на «ВЕСТНИК АсЭкО» – во всех отделениях связи.

Индексы: 72995, 71169 – по каталогу «Газеты и журналы» агентства «Роспечать»; 29138 – по Объединенному («зеленому») каталогу.

ВЕСТНИК АсЭкО

– все об экологическом образовании детей



Наша история, записанная в ДНК

Н.К.Янковский, С.А.Боринская

Платон очень гордился своим определением человека: двуногое без перьев. Оно имело большой успех, пока киник Диоген, ощипав петуха, не изготовил наглядное пособие. Со времен Платона и Диогена появилось немало новых определений, в том числе основанных на описании свойств молекулы ДНК.

Для дальнейшего изложения важно представить себе молекулу ДНК в виде текста, определяющего многие наши особенности как биологического вида. Текст этот записан последовательностью из молекулярных букв — нуклеотидов. В генетическом алфавите их всего четыре: А (аденин), Т (тимин), Г (гуанин) и Ц (цитозин). Общая длина нуклеотидной последовательности, получаемой от каждого из родителей, — 3 млрд букв.

Генетический текст человека немногим отличается от текстов близкородственных видов. Так, в сходных генах человека и шимпанзе обычно из 100 букв текста 99 одинаковы. А у двух человек (если они не однойцевые близнецы) в среднем из тысячи только один нуклеотид другой. Именно с такими заменами связаны наследуемые индиви-



***Николай Казимирович Янковский,** доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией анализа генома Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН. Область научных интересов — разнообразие структур геномов человека и его связь с видообразованием и этногенезом.*



***Светлана Александровна Боринская,** кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Основные научные интересы связаны с общими закономерностями биологической и социальной эволюции и геномикой человека.*

дуальные особенности каждого человека.

В последние несколько лет изучение разнообразия генетических текстов (геномов) людей стало одной из самых популярных областей науки. Здесь есть чисто практический интерес: ведь с генетическими особенностями связано здоровье человека. Сегодня в геномные исследования фармацевтические компании вкладывают огромные средства и надеются получить отдачу в ближайшие десятилетия в виде принципиально новых методов диагностики и лечения.

Есть и другой аспект таких работ: они позволяют реконструировать события далекого прошлого, восстановить историю возникновения вида *Homo sapiens* и пути миграций разных народов. Эти исследования привели к появлению новых направлений науки — молекулярной антропологии и палеогеномики.

Молекулярные часы и филогенетическое древо

Еще в 60-е годы Л.Полинг и Э.Цукеркандл высказали идею, что скорость накопления мутаций достаточно постоянна: ее можно использовать как своего рода молекулярные часы эволюционной истории. Позже, когда появились методы чтения нуклеотидных последовательностей (секвенирования), скорость накопления мутаций была установлена при сравнении ДНК тех видов, время расхождения которых определялось по палеонтологическим находкам.

Метод молекулярных часов приложим и к изучению событий эволюционной истории человека. Здесь удобным инструментом исследования служит митохондриальная ДНК (мтДНК) и Y-хромосома. Остальные хромосомы при передаче потомству обмениваются

сходными кусками генетического текста — рекомбинируют. В результате в каждой хромосоме возникают новые, отличные от родительских, комбинации, что существенно затрудняет анализ накопления мутаций.

Y-хромосома передается только по мужской линии — от отца к сыну. Она присутствует в геноме мужчин в единственной копии и потому ни с чем не рекомбинирует (за исключением небольших участков на концах хромосомы, не влияющих на анализ нерекombинирующей части). Раз появившись, мутации в Y-хромосоме сохраняются на протяжении тысяч поколений, маркируя тем самым всех потомков индивида, у которого они первоначально возникли. Современные мужчины, имеющие одинаковые мутации в Y-хромосоме, восходят к общему предку по мужской линии. Очевидно, что родные братья, получившие от отца Y-хромосомы с одинаковыми текстами, относятся к одной линии. Однако если у одного из братьев произойдет мутация, которую он передаст своим сыновьям, линии наследования разойдутся на две ветви.

Сейчас созданы базы данных, содержащие информацию о Y-хромосомах десятков тысяч людей со всех уголков Земли. Современные методы генетического и статистического анализа таких больших выборок позволяют установить порядок возникновения мутаций и нарисовать филогенетическое древо, описывающее родственные связи всех людей по мужской линии. Чем раньше возникла мутация, тем ближе к корню древа она располагается и тем больше ветвей будет ее содержать. Так как материал, доступный для исследователя, — это ДНК, полученная от наших современников, филогенетическое древо строится от концов ветвей к корню.

При известной скорости накопления мутаций в расчете на поколение, число мутаций, различающих двух людей, можно перевести в абсолютное время, прошедшее с момента появления их генетических линий, т.е. установить, когда жил последний общий предок этих двух людей. При изучении отцовской линии анализируют около полутора-двух десятков изменчивых участков ДНК (SNP- и STR-маркеры) в Y-хромосоме, размер которой составляет 60 тыс. пар оснований.

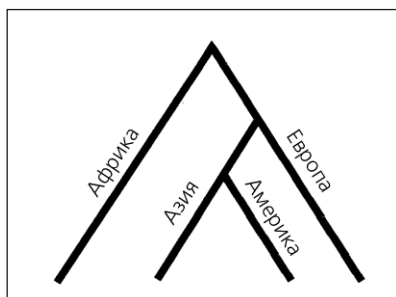
Эволюционную историю женской линии можно проследить по митохондриальной ДНК (мтДНК). Плод любого пола получает ее только от матери, поскольку в спермии нет митохондрий. В сравнении с ДНК хромосом это очень маленькая молекула — у человека всего 16 500 пар нуклеотидов. В отличие от ядерных генов, большинство которых представлено одной (в Y-хромосоме) или двумя копиями (в остальных хромосомах), в каждой клетке содержится до нескольких десятков тысяч копий молекул мтДНК. Кроме того, эта молекула — кольцевая, а, как известно, такие молекулы стабильнее, чем линейные. Именно эти особенности позволили исследователям прочесть мтДНК из останков древних людей, в том числе и неандертальцев. Можно считать, что митохондриальная ДНК — подарок природы молекулярным биологам.

Для построения филогенетического древа по материнской линии достаточно определить последовательность нуклеотидов небольших (около 400 пар нуклеотидов) фрагментов, которые мутируют наиболее быстро. Другой метод анализа — определение изменений в участках ДНК, распознаваемых ферментами, рестриктазами. Для большей точности используют комбинацию обоих методов. Посколь-

ку технически изучать мтДНК проще, такие работы были начаты раньше, чем по Y-хромосоме.

«Митохондриальная Ева»

Первые получившие известность исследования мтДНК представителей разных рас выявили общность происхождения всех ныне живущих людей по женской линии. В 1987 г. А.Уилсон и его коллеги из Калифорнийского университета в Беркли получили мтДНК от 147 представителей различных рас [1]. В исследуемом фрагменте они определили количество индивидуальных мутаций, а также их координаты и тип. Анализ показал, что все мтДНК возникли от одной предковой последовательности. По степени их разнообразия Уилсон оценил время, прошедшее с тех пор, как су-



Филогенетическое древо популяций.

ществовала предковая последовательность. Оно вычисляется как время схождения всех линий мтДНК в одну точку, называемую точкой коалесценции. В соответствии с его выводами, общая «праматерь», к которой восходят все типы мтДНК современных людей, жила в Восточной Африке менее 200 тыс. лет назад. Установить последовательность возникновения мутаций в поко-

лениях предков у обследованных индивидов тогда не удалось, но работы последних лет подтвердили выводы Уилсона.

Вопрос о прародине человечества дискутируется не одно десятилетие. Часть специалистов полагала, что человек возник в одном из регионов мира (наиболее часто упоминалась Африка) и затем расселился по всей Земле. Другая придерживалась так называемой мультирегиональной гипотезы, согласно которой предковый вид *Homo erectus* превратился в *Homo sapiens* в различных точках земного шара независимо. С появлением молекулярных данных значительный перевес получила «африканская» гипотеза.

После работ Уилсона обладательницу предковой мтДНК окрестили «митохондриальной Евой». Это сразу породило неверные толкования — будто все человечество произошло от одной женщины. На самом деле линии мтДНК современниц «Евы», несомненно существовавших, до нашего времени не дошли. И произошло это не потому, что «Ева» была особенной. Концепция молекулярных часов построена на предположении о нейтральности большинства мутаций, т.е. подразумевает, что ничем особенным от соплеменниц «Ева» не отличалась. Просто генетическое разнообразие в популяции всегда уменьшается, если в чреде поколений случаются резкие падения численности (прохождение «бутылочного горлышка»). А такое в истории человечества случалось не раз. Так что со временем все другие линии, кроме одной, исчезли по статистическим причинам.

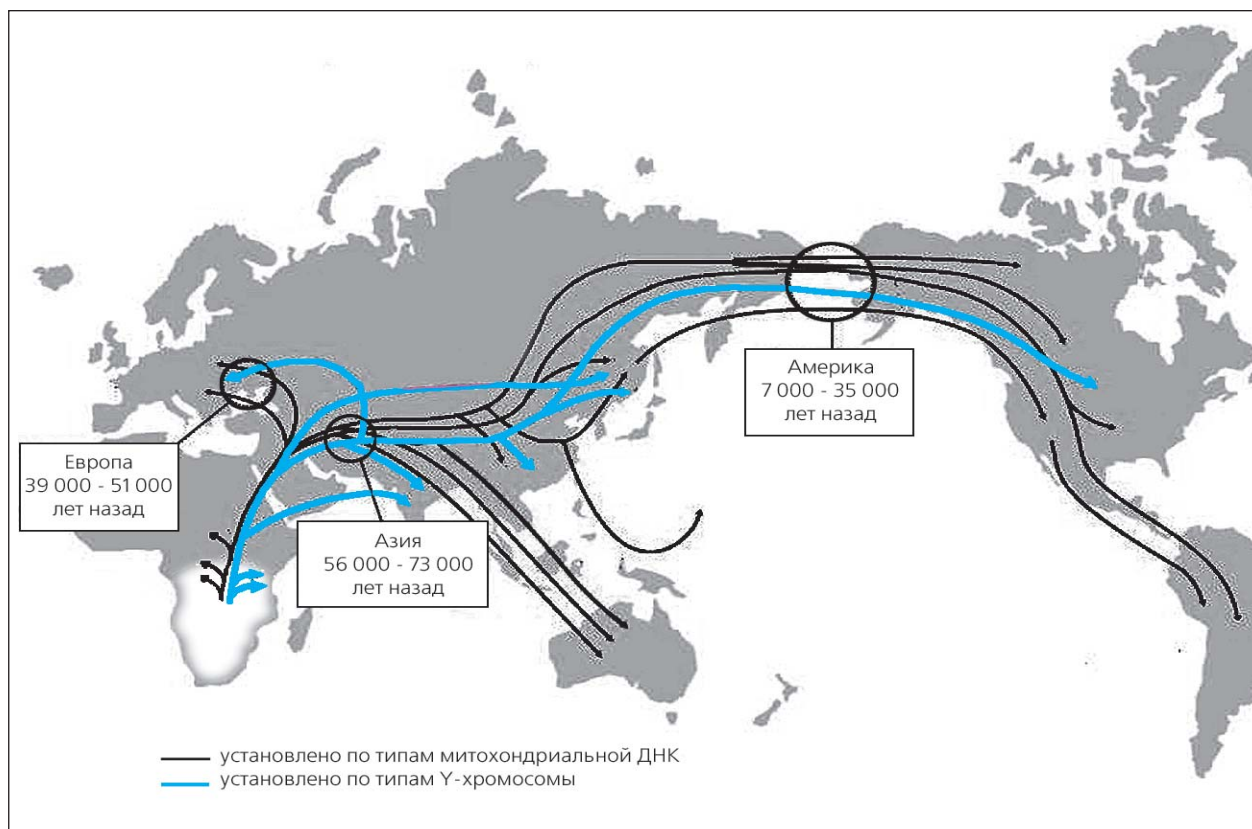
Пока люди живут вместе, появляющиеся у них мутации распространяются по всей группе. Если же группы делятся, мутации в них накапливаются независимо. Число таких различий между группами

пропорционально времени, прошедшему с момента их расхождения, что и позволяет датировать события популяционной истории. На основе изучения мтДНК населения разных регионов мира удалось выяснить пути и даты основных миграций прекрасной половины человечества.

Африканские предки

К большой радости генетиков реконструкция популяционной истории человечества по Y-хромосоме показала, что «Адам» — предок современных мужчин — жил примерно там же, где и «Ева». Хотя данные, полученные при анализе Y-хромосомы, менее точны, чем митохондриальные, они также указывают на африканское происхождение человека и единую предковую популяцию. Молекулярные датировки времени ее разделения на ветви, ведущие к современным популяциям, зависят от методов оценки и, по данным разных авторов, колеблются от 30—40 тыс. лет назад (что противоречит палеонтологическим данным) до 180 тыс. лет назад. Как наиболее вероятный называют период от 57 до 135 тыс. лет назад [2].

Гипотезу африканского происхождения человека подтверждает ряд независимых исследований. Особенно интересны работы по изучению народов Южной и Восточной Африки — бушменов и готтентотов. Их языки содержат щелкающие звуки, нигде больше не встречающиеся, и относятся к так называемой койсанской группе (комбинация слов «кой-койн» — самоназвание готтентотов и «сан» — название бушменов), обособленно стоящей в системе языков мира. Они значительно отличаются от остальных африканских народов, в том числе и от своих соседей банту, не только лингвистически, но и антро-



Пути и время расселения людей, установленные при анализе основных материнских и отцовских (показано цветом) генетических линий.

пологически: у них более светлая кожа, узкий нос, для женщин бушменов характерно избыточное отложение жира на ягодицах (стеатопигия), а для мужчин — особое строение половых органов. Отличия проявляются и в мтДНК: у бушменов обнаружена мутация, которая появилась одной из первых после возникновения человека как вида [3]. В Y-хромосоме некоторых бушменов также присутствует древняя мутация, не обнаруженная ни у кого из людей в других частях света, но найденная у обезьян. Вероятно, она возникла еще до разделения предковых линий человека и шимпанзе (5–7 млн лет назад) и непрерывно поддерживалась в части предковой популяции человека и шимпанзе. Возможно, эта мутация сохранилась только у

бушменов потому, что их многочисленные предки в определенный момент истории заселяли значительную часть африканского континента. Впоследствии они были оттеснены на юг племенами, говорящими на банту. На это указывают и результаты изучения костных останков людей, найденных в Африке, — они сходны по типу с современными представителями койсанской группы.

Интересно, что популяционные различия по Y-хромосоме оказались в несколько раз выше, чем по мтДНК. Это говорит о том, что перемешивание генетического материала по женской линии более интенсивно, т.е. уровень миграции женщин почти на порядок выше, чем у мужчин [4]. И хотя эти данные на первый взгляд могут показаться уди-

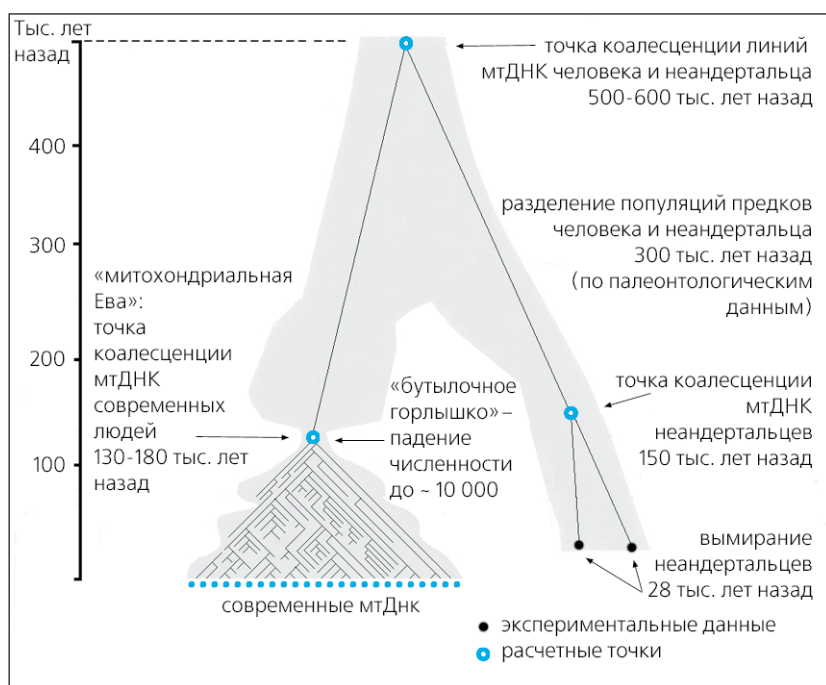
вительными (путешествия всегда считались прерогативой мужчин), их можно объяснить характерной для большинства человеческих обществ патрилокальностью (уходом жены в дом мужа). Брачные миграции женщин оставили более заметный след на генетической карте человечества, чем дальние походы Чингизхана или Аттилы [5].

Исследования ДНК неандертальцев

В 1997 г. генетик С.Пэбо сумел прочесть фрагмент мтДНК, выделенной из останков неандертальца, найденного в 1856 г. в Фельдгоферовской пещере близ Дюссельдорфа в Германии [6]. Эта пещера находится в долине Не-



Места находок останков неандертальцев. Отмечено положение пещер Фельдгофер и Мезмай.



Схематическое представление популяционной истории человека и неандертальца на основе анализа мтДНК и палеонтологических данных. Линии мтДНК современных людей сходятся в точке (точка коалесценции), соответствующей снижению численности популяции («бутылочному горлышку») и отделяющей человека современного анатомического типа от архаических африканских гоминид. Разделение генетических линий (точка коалесценции) предшествует разделению популяций. Цветом показаны предполагаемые колебания численности популяций, установленные по уровню разнообразия ДНК современных людей.

андерталь (Neander Tal). В 1863 г. английский антрополог и анатом У.Кинг предложил для находки название *Homo neanderthalensis**. Летом 2000 г. появилось сообщение другой группы ученых об исследовании второго образца неандертальской мтДНК из останков скелета ребенка, найденного в пещере Мезмайская на Северном Кавказе [7]. Во втором случае останки точно датированы радиоуглеродным методом — им 29 тыс. лет. Это — представитель одной из последних живших на Земле групп неандертальцев.

Неандертальцы — группа гоминид, предки которых вышли из Африки раньше, чем предки современных людей. Неандертальцы населяли Европу и Западную Азию в период от 300 тыс. до 28 тыс. лет назад. Какое-то время они сосуществовали с человеком современного анатомического типа, расселившимся в Европе около 40 тыс. лет назад. Ранее на основе морфологического сравнения неандертальцев с человеком современного типа было предложено три гипотезы: неандертальцы — прямые предки человека; они внесли некоторый генетический вклад в генофонд *Homo sapiens*; они представляли независимую ветвь, которую полностью вытеснил человек современного типа.

Результаты молекулярно-генетических исследований свидетельствуют в пользу третьей гипотезы. Обе неандертальские мтДНК имеют общие отличия от мтДНК людей, выходящие за границы внутривидового разнообразия *H.sapiens*. Это говорит о том, что неандертальцы — генетически отдельная, хотя и близкородственная человеку ветвь. По числу различий между их мтДНК время существования

* Интересно, что название долины, данное в честь композитора XVII в. Иоахима Ноймана (Neumann — новый человек — по-гречески Neander), означает «новый человек».

последнего общего предка человека и неандертальца оценивается в 500 тыс. лет. Палеонтологи считают, что предки неандертальцев появились в Европе около 300 тыс. лет назад, т.е. генетические линии, ведущие к человеку и неандертальцу, разделились раньше этой даты, как показывают датировки по мтДНК.

Таким образом, неандерталец эволюционировал в Европе одновременно с предком современного человека в Африке. Известно, что в Европе 40–50 тыс. лет назад расселился человек современного типа, а неандертальцы вымерли 28 тыс. лет назад. Неизвестно, какова связь этих событий — проиграл ли неандерталец в конкуренции с человеком или вымер по другим причинам.

Волны миграций и заселение континентов

Считается, что циклические изменения климата, происходившие с интервалом в десятки тысяч лет, играли существенную роль в эволюции и распространении всех видов, в том числе и человека. В периоды похолодания нарастала масса континентальных ледников, обитаемые природно-климатические зоны сдвигались на юг, уровень моря и озер снижался на сотни метров, увеличивалась площадь пустынь, съеживались тропические леса. С наступлением ледника в Европе сокращались обитаемые зоны и численность животных, сплошное «море» жизни распадалось на отдельные «озера».

В периоды потепления повышались численность и разнообразие живых форм, виды расселялись на пригодные для жизни территории — из Африки в Азию и Европу через Суэцкий перешеек и в Европе — на освободившиеся из-под ледника территории. Таким

образом, контакты африканской и евразийской биоты определялись глобальными циклами потепления—похолодания. Эти колебания приводили к значительным изменениям флоры и фауны всего Земного шара.

Исследования генетического разнообразия современных людей показали, что оно значительно ниже, чем, например, у шимпанзе, наших ближайших родственников в мире животных. Это означает, что человек как вид значительно позже шимпанзе прошел через «бутылочное горлышко» — резкое падение численности популяции, и/или это падение для человека было гораздо существеннее, чем для шимпанзе.

Различные группы генетиков пришли к выводу, что на протяжении последнего миллиона лет численность популяции прямых предков человека колебалась от 40 до 100 тыс. В период прохождения «бутылочного горлышка», около 130 тыс. лет назад, значительно снизилось генетическое разнообразие предков человека, так как их общая численность сократилась до 10 тыс. индивидов и носители многих генетических вариантов исчезли [10]. Для сравнения — численность ныне живущих шимпанзе (а этот вид находится под угрозой исчезновения) составляет 100–200 тыс. особей.

Сравнительный анализ мтДНК разных популяций современных людей позволил предположить, что еще до выхода из Африки, около 60–70 тыс. лет назад (когда также наблюдалось снижение численности, хотя и не столь значительное), предковая популяция разделилась по крайней мере на три группы, давшие начало африканской, монголоидной и европеоидной расам [8]. В отечественной литературе их обозначают как экваториальная, ази-

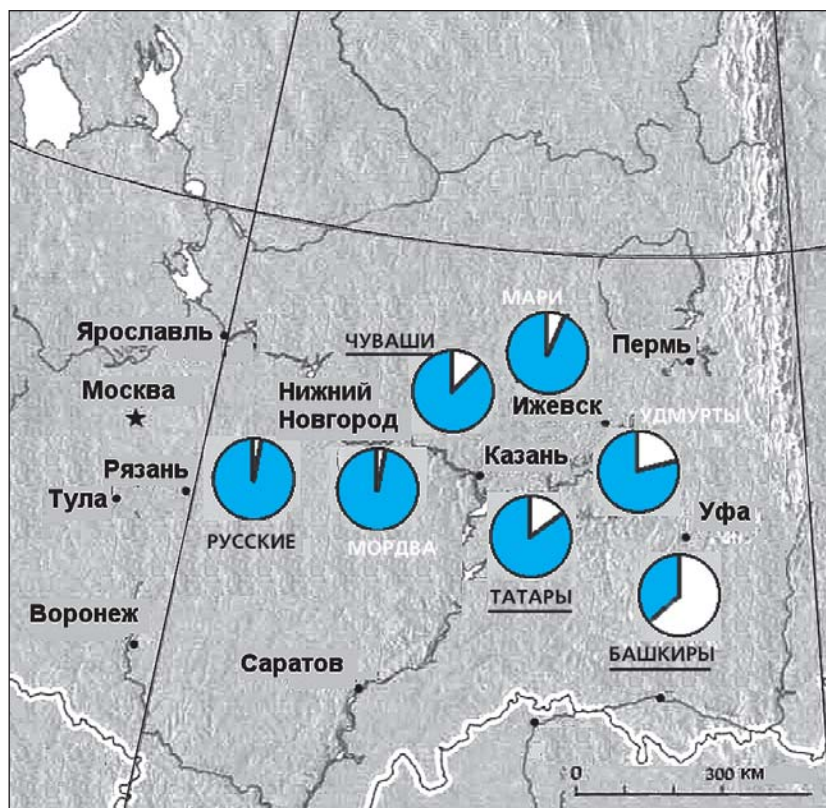
атско-американская и евразийская расы, что более точно отражает их современное географическое распространение.

Часть расовых признаков, возможно, возникла позже как адаптация к условиям обитания. Это относится по крайней мере к цвету кожи — одному из наиболее значимых для большинства людей расовых признаков. Степень пигментации у человека генетически задана и, вероятно, в каждой популяции соответствует географической широте обитания. Пигментация обеспечивает защиту от солнечного облучения, но не должна препятствовать образованию, например, некоторых витаминов, предотвращающих рахит и необходимых для нормальной плодовитости [12].

На основе генетических данных постепенно проясняется картина заселения Азии, Европы и Америки. В недавно опубликованных работах определены частоты древних типов мтДНК и Y-хромосом, принесенных в Европу 40–50 тыс. лет назад первыми поселенцами, а также других, распространившихся позже, в том числе и тех, которые отражают экспансию земледельческих племен с Ближнего Востока 9 тыс. лет назад. И здесь генетические исследования пролили свет на еще один вопрос, также вызывавший на протяжении многих лет горячие споры.

Как распространяется культура? Перенимают ли люди традиции, технологии и идеи от представителей другой культуры (концепция культурной диффузии); или идеи и технологии путешествуют по миру только вместе со своими носителями, и смена культуры происходит одновременно со сменой населения (концепция демической диффузии)?

До недавнего времени преобладала концепция демической диффузии. Считалось, что



Материнские генетические линии у народов Волго-Уральского региона. Доля европеоидных линий мтДНК (цветной сектор) падает при продвижении с запада на восток, а доля монголоидных (белый сектор) возрастает. Исследованные этнические группы относятся к различным языковым семьям: индоевропейской (из славянских языков, относящихся к этой семье, приведены русские), уральской (финно-угорские языки; указаны белым шрифтом) и алтайской (тюркские языки; подчеркнуты).

земледельцы, пришедшие в Европу из Малой Азии около 10 тыс. лет назад, внесли основную долю в генофонд современных европейцев, вытеснив проживавшие в Европе палеолитические популяции [9]. Однако опубликованные в прошлом году, но уже общепризнанные работы [10, 11] показали, что генетическая доля мигрантов-земледельцев составляет в современном населении Европы не более 10–20%. Это значит, что относительно небольшое число земледельцев привнесло в палеолитическую Европу технические новации, и в результате на всей европейской территории сменился тип хозяйства и культуры.

Генетическое разнообразие народов России

В России изучение генетического разнообразия видов имеет очень давнюю традицию, восходящую к работам 20-х годов прошлого столетия основателей отечественной генетики А.С.Серебровского и С.С.Четверикова. Крупнейший итог популяционно-генетических исследований человека 80–90-х годов — пятитомное издание «Генофонд и география народонаселения» под общей редакцией профессора Ю.Г.Рычкова из Института общей генетики РАН (Рычков и др., 2000). Его труды, выполнен-

ные в рамках фундаментальных научных программ РАН, РФФИ, а также программы «Приоритетные направления генетики», и сейчас лежат в основе принципов подбора материала для современных исследований и формирования исходных гипотез. Ряд лабораторий, участников российской программы «Геном человека» (в том числе и наша лаборатория), изучает генетическое разнообразие народов европейской части России [12].

Линии мтДНК, попавшие в Европу в эпоху палеолита около 40–50 тыс. лет назад, составляют сейчас значительную часть мтДНК людей, населяющих территории от северо-запада Европы до Уральских гор. Наиболее четкие различия, обнаруженные между отдельными линиями мтДНК, указывают на их монголоидное или европеоидное происхождение. Мы обследовали русских и большинство народов Волжского бассейна и Урала. Выяснилось, что у всех народов, кроме башкир, по материнской линии преобладает европеоидный компонент. Градиент его падения проходит примерно с запада на восток и не коррелирует с языком этих народов. У русских (население Рязанской, Курской и Калужской областей), говорящих на языке индоевропейской группы, 97–98% материнских линий — европеоидные, а доля монголоидного компонента составляет 2–3%. Европеоидные линии преобладают также у народов финно-угорской языковой группы (мари, удмурты, коми) — от 80 до 94%, и у тюркоговорящих народов, проживающих в этом регионе. Так, 85% татар по материнской линии европеоидные, а чувашей 90%. Лишь у их восточных соседей, башкир, монголоидные линии составляют 65%. Значит, современная граница

расселения европеоидов и монголоидов географически проходит примерно по Уралу, а популяционно-генетически — между башкирами, обитающими по обе стороны Уральского хребта, и их западными соседями-татарами. Повторим, что доля европеоидных и монголоидных линий не коррелирует с языком, на котором говорят эти народы.

Наши исследования показывают и разнообразные детали формирования отдельных народов. Например, монголоидные линии мтДНК у народов Волго-Уральского региона имеют разное происхождение: одни из них появились, вероятно, из Сибири, а другие — из Центральной Азии. Сочетание обнаруженных нами генетических ли-

ний образует мозаику, которая характеризует каждый из этих народов.

Проектов по изучению генетического разнообразия людей становится все больше. Они дают сведения, важные для здравоохранения, а также для реконструкции исторических событий. Сейчас известно, что многие мутации не нейтральны, скорость их накопления может быть различной для разных участков ДНК и на разных этапах эволюции. Поэтому абсолютные датировки, полученные на основе молекулярных методов, могут достаточно сильно различаться в зависимости от используемой системы анализа, и должны уточняться по мере развития экспериментальных методов и теоретических инструментов исследования.

В заключение можно предположить, что сложившееся к настоящему времени представления о последовательности эволюционных и миграционных событий в истории человека как вида вряд ли сильно изменятся. Это, однако, не исключает сюрпризов при выявлении деталей формирования и взаимодействия разных популяций, приводивших к возникновению и смене языков и культур. Такие исследования помогут не только лучше понять причины, определившие современную структуру родонаселения Земли, но и предсказать тенденции этих процессов, что может быть крайне важным для выработки стабильных и сбалансированных отношений между народами в будущем. ■

Литература

1. Cann R.L., Stoneking M., Wilson A.C. // Nature. 1987. V.325. №6099. P.31—36.
2. Zhitovitsky L.A. // Mol. Biol. Evol. 2001 (in press).
3. Vigilant L., Stoneking M., Harpending H. et al. // Science. 1991. V.253. P.1303—1307.
4. Seielstad M.T., Minch E., Cavalli-Sforza L.L. // Nat. Genet. 1998. V.20. P.278—280.
5. Stoneking M. // Nat. Genet. 1998. V.20. P.219—220.
6. Krings M., Stone A., Schmitz R.W. et al. // Cell. 1997. V. 90. №1. P.19—30.
7. Ovchinnikov I.V., Gotberstrom A., Romanova G.P. et al. // Nature. 2000. V.404. №6777. P.490—493.
8. Labr M.M., Foley R.A. // Yearbook of physical anthropology. 1998. V.41. P.137—176.
9. Cavalli-Sforza L.L. Genes, peoples, and languages. N.Y., 2000.
10. Richards M., Macaulay V., Hickey E. et al. // Am. J. Hum. Genet. 2000. V.67. P.1251—1276.
11. Underhill P., Cavalli-Sforza L.L., Oefner P.J. // Nat. Genet. 2000. V.26. P.358—361.
12. Orekhov V., Poltoraus A., Zhitovitsky L.A. et al. // FEBS Lett. 1999. V.445. №1. P.197—201.

По заключению Бельгийской Королевской лиги защиты птиц популяция воробьев стремительно сокращается по всему северу Европы. Наиболее вероятными причинами их массового исчезновения специалисты называют распространение пестицидов, урбанизацию, разрушение естественной среды обитания (старых построек, оград, изгородей). Возможно, на сокращении популяции воробьев сказывается и конкурентная борьба за выживание с

другими видами птиц, например скворцами.

Science et Vie. 2000. №995. P.24 (Франция).

Строительство автомагистрали A28 между Руаном и Туром (Франция) снова оказалось предметом бурных обсуждений среди защитников окружающей среды. В 1996 г. скарабей, находящийся под защитой, остановил дорожные работы. Теперь же «вмешались» летучие мыши: последние 50 км автомагистра-

ли пересекают район их обитания. Более того, предполагается, что эта зона должна быть вскоре включена в план Европейского союза по защите географических зон («Nature 2000»). Во избежание выплаты крупных штрафов за ущерб окружающей среде дорожникам предстоит провести изыскания нового участка автомагистрали.

Sciences et Avenir. 2000. №646. P.18 (Франция).

Зорышка

«ДЖОИДЕС Резолюшн»: рейсы продолжаются

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук

Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН

Возобновляется публикация наиболее существенных результатов бурения в рейсах научно-исследовательского судна «ДЖОИДЕС Резолюшн», которое проводится в рамках Программы океанского бурения. Вынужденный перерыв в подобных публикациях был обусловлен тем, что руководство Программы переходило на новую форму распространения информации с помощью современных средств. В настоящее время издаются краткие отчеты (первичный и научный) по каждому рейсу, сопровождаемые записями на лазерных дисках всей информации, полученной на борту судна и обработанной в лабораторных условиях на берегу. Эти материалы ныне попадают в научно-исследовательские центры разных стран мира, в том числе в наш институт.

Напомним, что консорциум, созданный в конце 60-х годов и получивший название «Объединение океанографических институтов по глубинному опробованию Земли» («Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling — JOIDES»), вначале объединял несколько институтов США, а в настоящее время



***Иван Алексеевич Басов**, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией биостратиграфии Института литосферы окраинных и внутренних морей РАН. Область научных интересов — биостратиграфия осадочного чехла океанов, палеоокеанология, палеоклиматология. Член редакционной коллегии «Природы». Неоднократно публиковался в нашем журнале.*

включает многочисленные научные организации из двух десятков стран. СССР был участником консорциума около 10 лет с двумя перерывами. Сначала работы велись в рамках Международного проекта глубоководного бурения (Deep Sea Drilling Project) с помощью бурового судна «Гломар Челленджер», а с 1985 г. и до настоящего времени — по Про-

грамме океанского бурения (Ocean Drilling Program) на более совершенном буровом судне «ДЖОИДЕС Резолюшн». Это бывшее нефтеразведочное судно длиной 143 м, шириной 21 м и водоизмещением 18 600 т было переоборудовано в плавучий научно-исследовательский центр. Оно оснащено современным буровым, навигационным и лабораторным оборудованием, позволяющим вести бурение

© И.А.Басов

на глубинах до 8235 м в любом районе Мирового океана и непосредственно на борту обрабатывать керн, а также устанавливать его химические и физические характеристики.

Чтобы удерживать судно над точкой бурения в любых погодных и гидрологических условиях, оно оборудовано мощной системой динамического позиционирования, включающей в дополнение к главному двигателю подрабатывающие устройства (трастеры). Акустический маяк, установленный на дне вблизи скважины, сообщает бортовому компьютеру о любом смещении судна с заданной точки, который после анализа полученной информации автоматически передает команду на главный двигатель и каждый трастер, и они, включаясь, возвращают судно на исходную позицию.

Технология бурения в целом подобна той, которую применяют на суше. Буровая колонна собирается из плетей длиной 28,5 м, каждая из которых состоит из трех секций длиной по 9,5 м. Процесс сборки занимает 12 ч при глубине 5500 м. Внутри колонны на тросе свободно перемещается керноотборник с пластиковым вкладышем. После проникновения бурового снаряда на очередной интервал 9,5 м, соответствующий длине керноотборника, последний с помощью троса поднимается на борт судна. Здесь из него извлекают пластиковый вкладыш с керном, и после этого он снова возвращается в скважину за очередной порцией керна. На получение одной порции керна мягких осадков при глубине 5500 м уходит 1 ч 40 мин.

В зависимости от типа осадков (или пород) технология бурения и оборудование меняются. В мягких осадках, которые при вращении бурового снаряда могут быть частично или полностью разру-

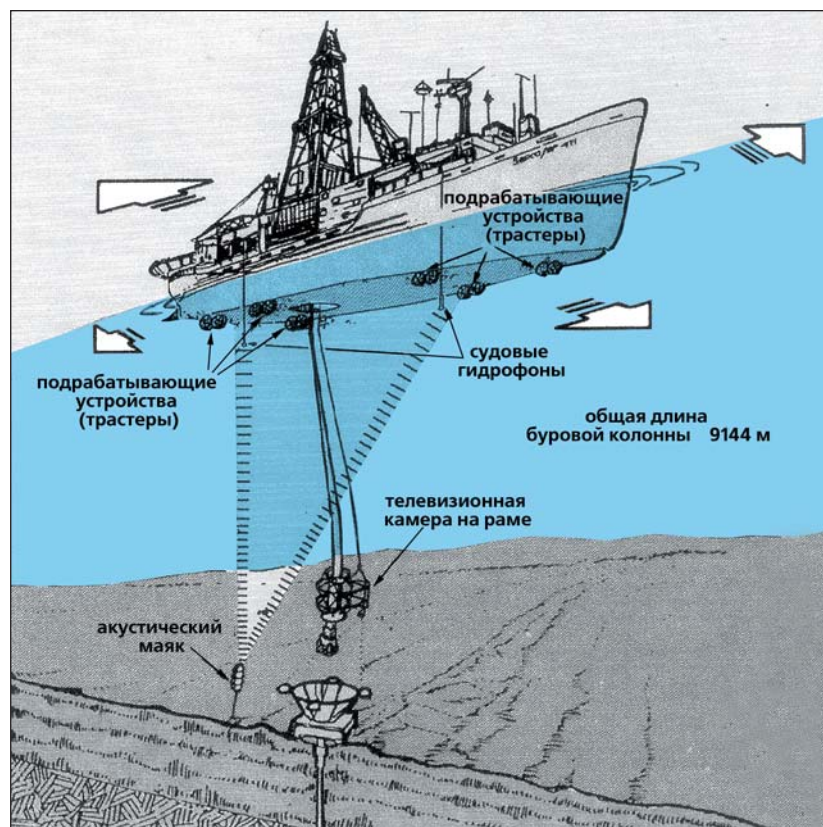
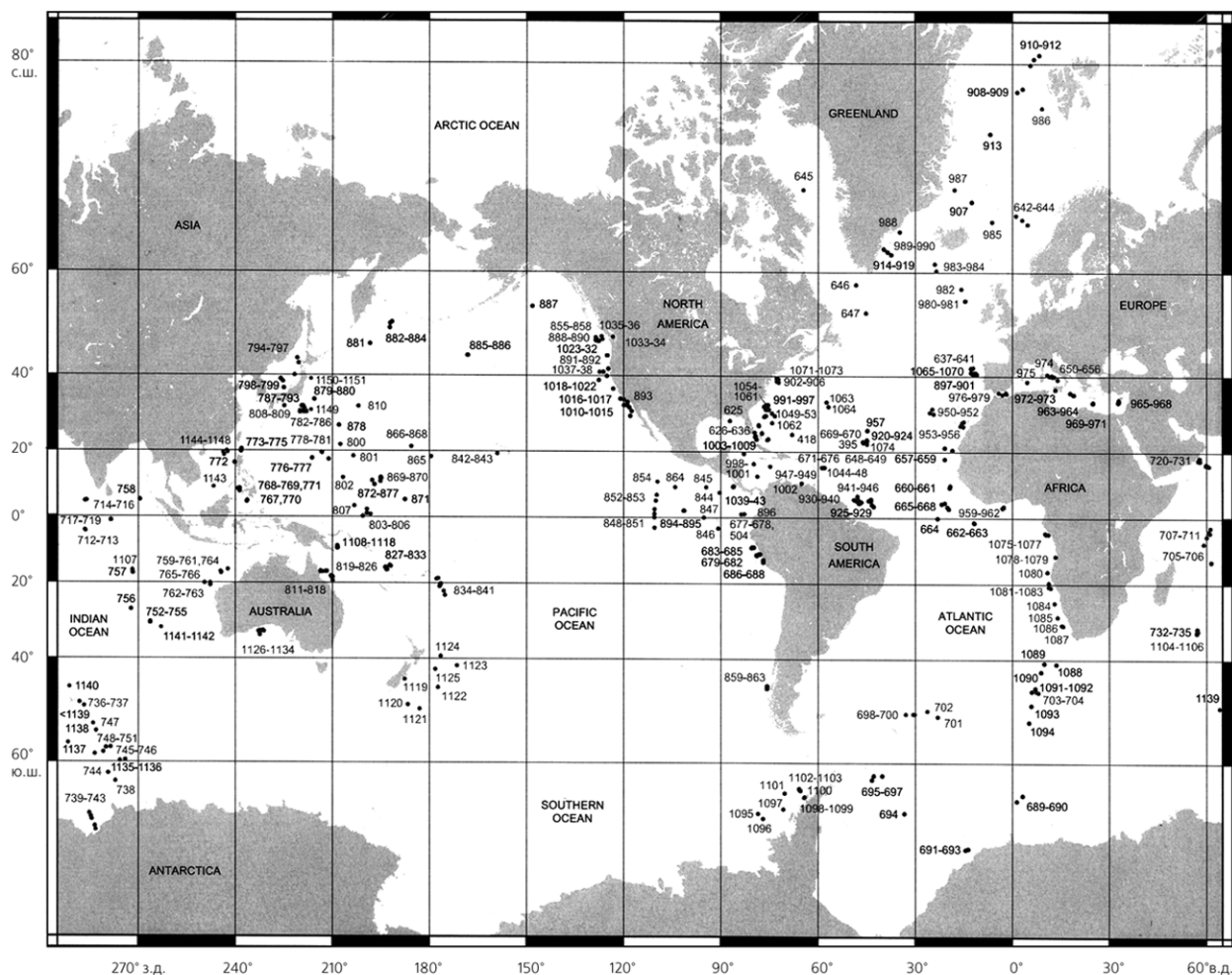


Схема повторного входа в скважину (судно «ДЖОИДЕС Резолюшн»).

шены, используется гидравлический керноотборник, проникающий через долото в осадки под давлением нагнетаемой сверху воды. Это позволяет добывать непрерывный и ненарушенный керн слабо уплотненных осадков и таким образом получать надежные стратиграфические, палеомагнитные и другие результаты. В твердых породах фундамента бурение производится роторным способом, а для переслаивающихся мягких осадков и твердых пород разработаны буровые снаряды, которые позволяют менять технику бурения и отбора проб в процессе прохождения скважины без подъема инструмента и демонтажа буровой колонны.

Когда же необходима замена инструмента при длительном бурении твердых пород

или очень глубоких скважин, применяется система повторного (многократного) входа в скважину. С помощью бортовых компьютеров и акустического излучателя на конце бурового снаряда эта система позволяет обнаруживать специальную воронку, установленную над устьем скважины до начала бурения, и опускать через нее снаряд в уже пробуренную скважину сколь угодно раз. Дополнительный контроль над операцией проводится с помощью телевизионной камеры на конце снаряда. Именно благодаря этой уникальной системе в восточной экваториальной части Тихого океана в нескольких рейсах пробурена самая глубокая в океане скважина 504В (в настоящее время ее глубина 2105 м ниже дна).



Точки бурения скважин «ДЖОИДЕС Резолюшн».

Что дало океанское бурение геологии

За прошедшие 30 с лишним лет в Мировом океане пробурены тысячи скважин в районах, расположенных приблизительно от 80°с.ш. до 70°ю.ш., и на всех геологических структурах, кроме шельфа и глубоководных желобов. В результате получены многие километры керн — проб осадочных и магматических пород, всестороннее изучение которых позволило понять строение дна океана и историю его развития [1].

В течение первой фазы бурения, когда в основном проверялась правильность основных постулатов концепции тектоники плит, главной задачей было достижение фундамента в различных районах Мирового океана.

При анализе образцов осадочных и магматических пород было установлено, что наиболее древние среднеюрские осадки, возрастом более 150 млн лет, залегающие на базальтах фундамента, развиты в окраинных районах Атлантического и Тихого океанов. По направлению к сре-

динным хребтам осадки становятся моложе и в осевой их части имеют современный возраст. Более того, оказалось, что в глубоководных котловинах периферийных частей океанов базальные слои осадочного чехла — относительно более мелководные, чем те, что залегают выше по разрезу. Это означает, что формировавшаяся в них океанская кора, удаляясь от них и остывая, постепенно погружалась. Все это однозначно свидетельствует в пользу основных положений тектоники плит.

Одновременно изучение пород базальтового слоя океанской коры выявило существенную неоднородность их геохимического и изотопного состава. Было также установлено, что породы этого слоя различаются и по своему генезису. Выяснилось, что наравне с типичными базальтами, которые изливаются на дно в осевых частях срединно-океанских хребтов, существуют разности, сформированные в пределах внутриокеанских поднятий и островов, островных дуг, пассивных окраин, что свидетельствует о значительно более сложном формировании дна океана, чем предполагалось в рамках тектоники плит.

Пожалуй, наиболее значительные результаты достигнуты при изучении осадочного чехла океана. Один из них — разработка детальных биостратиграфических шкал, от степени детальности и надежности которых напрямую зависит интерпретация последовательности прошлых геологических процессов и событий, следы которых записаны в осадочных разрезах.

В настоящее время разработаны детальные, так называемые зональные, шкалы по многим группам микроорганизмов, которые позволяют расчленять осадочный чехол на отрезки, отвечающие в некоторых случаях временным интервалам продолжительностью до нескольких сотен тысяч лет. Их применение при изучении осадочных разрезов океана показало, что непрерывные разрезы осадков в океане представляют скорее исключение, а не правило, как это предполагалось до начала глубоководного бурения. Вместе с тем придонная циркуляция в Мировом океане не всегда препятствовала отложению новых осадков или приводила к размыту уже накопленных. Временами в некоторых местах она почти полно-

стью прекращалась, что приводило к появлению в придонном слое воды анаэробных условий и формированию на дне специфических черносланцевых отложений с повышенным содержанием органического вещества.

С самого начала глубоководного бурения палеоклиматические исследования при изучении осадочных кернов занимали особое место [2]. На основе изменений в составе различных групп микропланктона был разработан достаточно надежный метод оценки климата прошлых геологических эпох, особенно эффективный при реконструкции климатических флуктуаций на протяжении последних 700 тыс. лет. Для этого периода ледниковой истории Земли получена исключительно детальная палеоклиматическая кривая, которая повторяется в почти неизменном виде в разных районах океана, что свидетельствует о ее надежности.

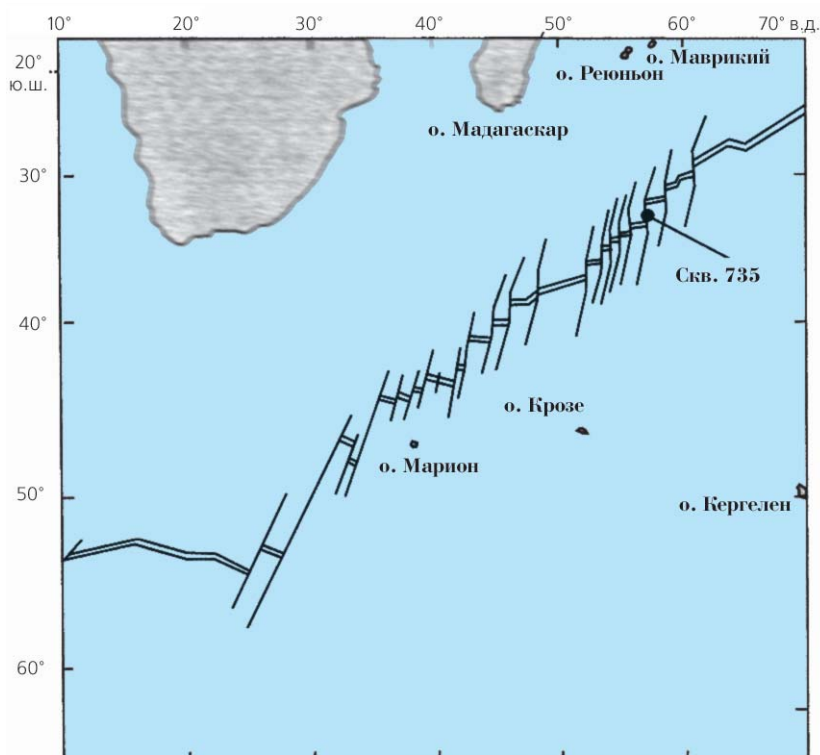
Таким образом, благодаря глубоководному бурению за последние три десятилетия геология превратилась в науку, которая изучает Землю как единую систему со сложным взаимодействием ее различных оболочек: литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Следует подчеркнуть, что осуществление такой грандиозной программы было бы невозможным без тесной кооперации многих научных организаций, групп специалистов и отдельных ученых.

Из шести рейсов «ДЖОИ-ДЕС Резолюшн», проведенных в период между последней публикацией в журнале «Природа» (1997. №11. Рейс 169) и началом распространения информации на лазерных дисках (рейс 176), один (170) состоялся в экваториальной части Тихого океана у берегов Коста-Рики, а остальные — в Атлантическом океане: три (171В и 172, 174А) — в его западной части, в районе плато Блейк,

два (173 и 175) — в восточной, соответственно в пределах банки Галисия, к западу от Пиренейского п-ова, и у берегов Конго, один (174В) — в центральной части океана, непосредственно в пределах Срединно-Атлантического хребта. В этих рейсах, как и во всех остальных, получены ценные материалы, которые после обработки позволят ответить на многие вопросы, касающиеся развития различных геологических структур и процессов. Так, например, скважинами 1049—1062 (рейсы 171В и 172) вскрыт разрез осадков, который, с одной стороны, позволяет в деталях восстановить историю развития океана, включая его циркуляцию, эволюцию биоты с массовым вымиранием на определенных границах, колебания температуры вод и другие события в течение мела—палеогена, а также климатические изменения, связанные с позднекайнозойским оледенением в Северном полушарии, и процессы формирования газогидратов в океанских осадках.

Данные, полученные при бурении в районе банки Галисия, в частности, показали, что мантийные породы (перидотиты, амфиболиты, метанортозиты, тоналитовые гнейсы), слагающие фундамент в переходной зоне пассивной окраины, между континентальной и настоящей океанской корой, занимают гораздо более широкую полосу, чем считали ранее.

В одном из рейсов (171А) в пределах Барбадосской аккреционной призмы (осадков, срезанных с поверхности погружающейся плиты) параллельно с бурением были проведены комплексные геофизические исследования с помощью новых приборов, позволяющих измерять плотность, пористость, электропроводность пород непосредственно в процессе бурения. Их результаты оказались тождест-



Местонахождение скважины 735В, которая добуривалась в 176-м рейсе.

венными с геологическими, что свидетельствует о больших потенциальных возможностях этой технологии изучения разрезов.

176-й рейс

Бурение показало, что представление об океанской коре как простой последовательности (сверху вниз) осадков, подушечных базальтов (и диабазов), а также мощных габбро, залегающих на породах верхней мантии с границей вблизи поверхности Мохоровичича, далеки от истинного положения вещей. Оказалось, что структура и мощность океанской коры зависят

от объемов магмы, выплавляемой в магматических камерах, которые существуют в пределах срединно-океанских хребтов, а также от скорости спрединга. Более того, установлено, что постоянных магматических камер не бывает, особенно в пределах срединных хребтов, где скорость спрединга низкая и где, возможно, нет сплошного габбрового слоя. При бурении в районе трансформного разлома Кейн в Северной Атлантике выяснилось, что в хребтах с низкой скоростью спрединга структура нижнего, габбрового слоя океанской коры в равной мере определяется магматическими и динамическими (тектоническими) процессами. Обилие

обломков серпентинизированного перидотита, обнаруженных здесь при драгировках, позволило высказать идею, что значительную долю третьего (габбрового) слоя океанской коры составляет серпентин, как это некогда предполагал один из основоположников плитовой тектоники Г.Хесс.

Несмотря на то что в нескольких рейсах удавалось добуриться до этого слоя, до сих пор не получено достаточно полного его разреза, который позволил бы изучить состав, внутреннюю структуру и характер изменений пород, залегающих нижнейю часть коры.

Получение такого разреза и стало целью 176-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн», который проводился с 8 октября по 9 декабря 1997 г. в юго-западной части Индийского срединно-океанского хребта, характеризующегося исключительно низкой скоростью спрединга. Исследования проводились под руководством американцев Г.Дика из Вудсхолского океанографического института и Дж.Нэтланда из Университета Майами; научным представителем Программы океанского бурения был Д.Миллер [3].

Достичь этой цели предстояло путем повторного вхождения и добуривания скважины 735В, расположенной вблизи трансформного разлома Атлантик-II, в точке с координатами $32^{\circ}43.392'$ ю.ш. и $57^{\circ}15.960'$ в.д. Скважина была заложена в 118-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» и дошла до глубины 500.7 м. Вскрытый тогда разрез был сложен преимущественно однородными оливковыми габбро, среди которых наблюдались многочисленные интрузии микрогаббро.

Согласно интерпретации полученных материалов участниками 118-го рейса, вскрытые породы формировались в процессе многократного вне-

дрения многочисленных, небольших, быстро кристаллизовавшихся магматических тел. При этом каждая новая порция расплава внедрялась в нижнюю часть коры, состоящую из смеси частично и полностью раскристаллизованной породы. Это приводило к переохлаждению и быстрой кристаллизации внедряющейся магмы, и, таким образом, формирование коры происходило без всяких признаков магматического расслоения.

В 176-м рейсе скважина была углублена более чем на 1000 м и достигла отметки 1508 м ниже дна океана, прежде чем из-за плохой погоды произошел обрыв буровой колонны. Разрез пород ниже

уровня 500 м представлен чередованием мощных пачек оливиновых габбро, габбро-норитов и троктолитовых габбро. Несмотря на то что такой разрез по своему строению напоминает расслоенные интрузии, на самом деле это только внешнее сходство. Судя по всему, он состоит из нескольких последовательных интрузий оливинового габбро, в которые впоследствии были внедрены габбро, обогащенные окислами. Этот вывод подтверждается также геохимическими данными. Соотношение объемов троктолитов и оливиновых габбро в разрезе свидетельствует о том, что последние кристаллизовались в основном на относительно

небольших глубинах (менее 6 км). Высокая степень корреляции между габбро и структурами деформации, по мнению участников рейса, позволяет предполагать, что в пределах изученного юго-западного сегмента Индийского срединно-океанского хребта отсутствует постоянный источник магмы.

Таким образом, несмотря на то, что основная цель рейса (пересечь границу между корой и мантией) не была достигнута, получены уникальные материалы по составу и строению нижней части океанской коры, которые помогут понять магматическую, структурную и метаморфическую историю ее формирования. ■

Литература

1. Кеннет Дж.П. Морская геология. М., 1984.
2. Басов И.А. Океаническая и климатическая эволюция в миоцене // Природа. 1999. №5. С.18—27.
3. Dick H.J.B., Natland J.H., Miller D.J. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 1999. V.176.

Новый проект океанологических исследований США

Некоторое время назад Национальный научный фонд США обратился к Национальной академии наук с предложением оценить необходимость и возможность создания новой системы всестороннего исследования глубин Мирового океана и его дна. Теперь документ, составленный комиссией экспертов во главе с У.Райэном (W.Ryan; Обсерватория по изучению Земли им.Ламонта и Дорэрти при Колумбийском университете, штат Нью-Йорк), представлен на всеобщее обсуждение (Science. 2000. V.289. №5479. P.522. США).

Комиссия считает необходимым и технически возможным создать систему телеметрических автоматических станций длительного действия,

передающих информацию о физических, химических, биологических и других процессах, происходящих в толще воды и на океанском дне. Они могут быть прикреплены к специальным буям или к неиспользуемым ныне подводным электро- и коммуникационным кабельным линиям и работать параллельно с автономными погружаемыми аппаратами.

Геофизик Р.Детрик (R.Detrick; Вудсхолский океанографический институт, штат Массачусетс), заместитель председателя экспертной комиссии, предложил немедленно связать новую программу с уже ведущейся в Вашингтонском университете разработкой системы "Neptune", которую предстоит развернуть на дне северо-восточной части Тихого океана с центром в интереснейшем для геотектоники и сейсмологии районе подводного вул-

кана Аксиал. Датчики этой системы предполагается соединить тремя тысячами километров волоконно-оптического кабеля.

Предварительные оценки показывают, что создание новой системы обойдется в несколько сот миллионов долларов, а ее эксплуатация - в десятки миллионов ежегодно. Национальный научный фонд США сейчас таких возможностей не имеет, но для начала работ может запросить у Конгресса, формирующего бюджет 2002 г., примерно 30 млн долл. Преподседатель Конгресса Б.Клинтон обратил внимание законодателей на необходимость дополнительных ассигнований на исследования глубин океана. В конгрессе создана двухпартийная группа для поддержки этого начинания.

Вашингтонский

Температурный гистерезис в гетерогенном катализе

Б.С.Гудков, А.Н.Субботин, В.И.Якерсон

Гетерогенный катализ — та область науки, в которой действуют и которой управляют два рода законов: чисто химические и законы физики поверхности твердого тела. По этой причине, в частности, в гетерогенном катализе существует множество явлений, трудно поддающихся объяснению, а иногда, наоборот, получающих сразу несколько противоречащих друг другу трактовок.

В ряду подобных явлений находится и температурный гистерезис. Вообще, гистерезисные эффекты — это опровержение ставшего поговоркой тезиса о том, что от перемены мест слагаемых результат не меняется. Иногда меняется. Наличие гистерезиса означает, что, двигаясь в одном направлении, мы видим не ту картину, которая возникнет перед нами, когда направление движения меняется на противоположное. Как если бы мы просматривали киноленту и потом, перематывая ее назад, обнаружили на экране не те же самые кадры, хотя и в обратной последовательности, а совсем другие. В нашем случае это выражается в том, что, постепенно повышая температуру, мы фиксируем в каждой



Борис Сергеевич Гудков, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института органической химии им.Н.Д.Зелинского РАН. Занимается исследованием гетерогенного катализа и механизмов его реакций, изотопным обменом.



Александр Николаевич Субботин, кандидат химических наук, старший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — гетерогенный катализ, термические методы анализа, механизмы реакций.



Владимир Ильич Якерсон, доктор химических наук, профессор того же института. Научные интересы связаны главным образом с гетерогенным катализом, формированием катализаторов, изучением механизмов реакций физическими методами.

© Б.С.Гудков, А.Н.Субботин, В.И.Якерсон

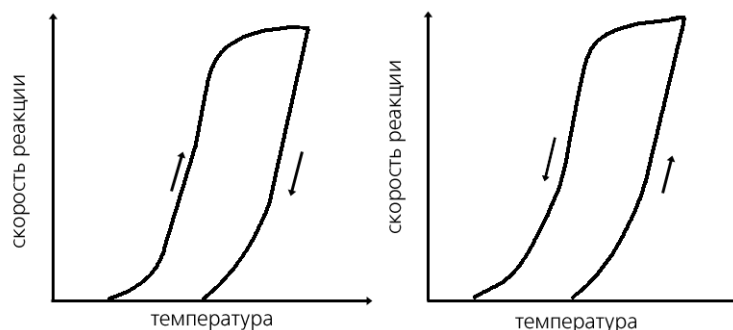
точке ту или иную скорость реакции или степень превращения исходного вещества, а начав охлаждение, получаем в тех же температурных точках другую скорость или другую степень превращения. Эта «другая» скорость, измеренная при определенной температуре, может быть меньше первой, и тогда мы называем полученную зависимость гистерезисом «по часовой стрелке». Но она может быть и больше, и такую зависимость именуют гистерезисом «против часовой стрелки». Восходящая (полученная при повышении температуры) и нисходящая (при понижении) ветви температурной зависимости образуют петлю гистерезиса.

Примеров температурного гистерезиса в гетерогенном катализе известно не то чтобы очень много, но и немало. Гистерезисные эффекты наблюдались в реакциях окисления монооксида углерода*, водорода, некоторых углеводородов, а именно метана и бензола, синтеза аммиака из азота и водорода, окисления и даже обмена изотопами между молекулами водорода и дейтерия. Все это — реакции разного типа и проводились они на различных катализаторах — чистых металлах, металлах на той или иной подложке, разнообразных оксидах.

Чем же объясняют появление температурных гистерезисов? Мы не будем останавливаться на частных версиях, применимых лишь к отдельным конкретным случаям. Обратимся к наиболее общему, да к тому же самому распространенному толкованию.

В химической кинетике существует понятие стационарного состояния катализатора,

* Таких примеров больше всего. Ликвидация или утилизация монооксида углерода СО (в быту его называют угарным газом) — большая проблема в областях техники, связанных со сжиганием углеродного топлива (автомобильные двигатели, топливные электростанции, котельные и т.п.).

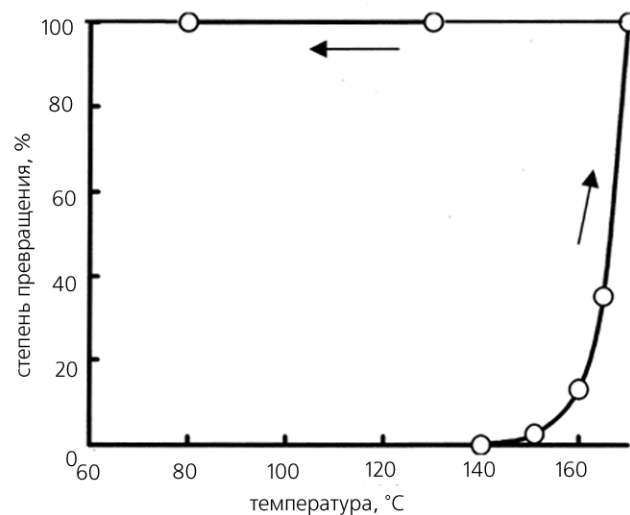
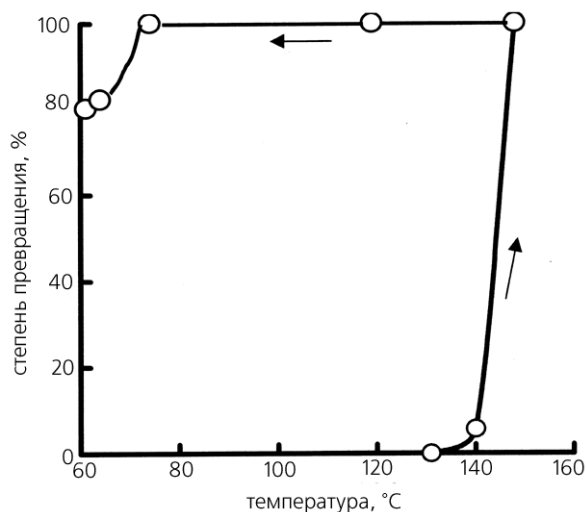


Петли температурного гистерезиса «по часовой стрелке» и «против часовой стрелки».

когда каталитическая система пребывает в динамическом равновесии с окружающей реакционной средой. При изменении состава среды может варьироваться и состояние катализатора. Если изменение происходит постепенно, без резких скачков, то и при обратном ходе катализатор пройдет через те же самые состояния, и никакого гистерезиса не будет. Но в некоторых случаях постепенное накопление количественных изменений приводит к резкому, скачкообразному переходу катализатора в новое состояние с иной структурой поверхности, иной степенью окисления, иным фазовым составом и т.п. В этом новом стационарном состоянии и активность катализатора может стать совсем другой. И если оно достаточно стабильно, то обратное изменение состава реакционной среды не сразу ведет к возврату катализатора в первоначальное состояние. Иными словами, тогда неизбежно возникает гистерезис: при одном и том же составе скорости реакций в условиях роста концентрации какого-то компонента и в условиях ее уменьшения будут отличаться. Так вполне логично объясняется происхождение концентрационного гистерезиса.

В принципе подобные перемены могут происходить с катализатором и при изменении температуры. Поэтому описанный подход был распространен и на температурный гистерезис. Казалось бы, это вполне оправданно, поскольку множественность стационарных состояний при температурном гистерезисе наблюдалась, как было сказано, преимущественно в окислительных реакциях, а именно в них реакционная среда наиболее заметно влияет на состояние катализатора. Однако, анализируя литературные данные, нельзя не заметить, что в ряде работ восходящие и нисходящие ветви температурной зависимости степени превращения исходных продуктов имели плавный, постепенный ход, без резких скачков и перепадов. А это вряд ли согласуется с концепцией множественности стационарных состояний как причины гистерезиса.

Столкнувшись в своей работе с феноменом температурного гистерезиса «против часовой стрелки», мы попытались истолковать его. И вскоре поняли, что прежде должны выполнить обширное систематическое исследование, чтобы свести к минимуму роль частных, не имеющих об-



Температурная зависимость степени окисления CO на оксиде меди без носителя (слева) и на палладиевом катализаторе, нанесенном на оксид алюминия. В первом случае петля гистерезиса замкнута, во втором — открыта. Это — примеры сильного гистерезисного эффекта. Даже прекратив нагревание реакционной смеси, не удастся снизить ее температуру до начальной, окисление продолжается в режиме самоподдержания.

щего значения. Для этого было необходимо изучить как можно более широкий круг катализаторов и химических реакций по единой методологии, т.е. в одной и той же установке, с помощью одинаковых приемов и приборов, как бы «одними руками».

Анализ экспериментальных результатов, полученных уже на начальном этапе, еще больше усилил наше критическое отношение к объяснению температурного гистерезиса множественностью стационарных состояний.

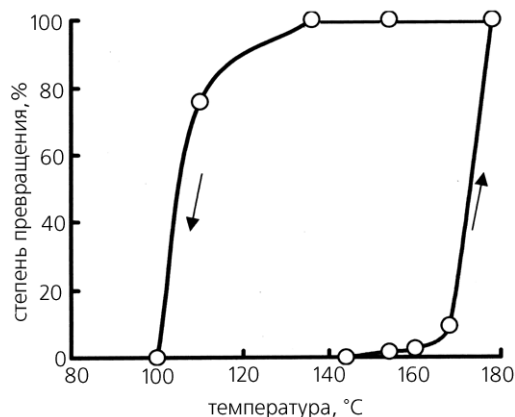
Во-первых, на всех без исключения кривых, описывающих зависимость степени превращения исходного вещества от температуры реакции, были обнаружены промежуточные точки. Ни разу нам не удалось наблюдать мгновенного скачка от одного уровня активности катализатора к другому, даже если степень превращения очень сильно возрастала в узком диапазоне температур. Однако нельзя было исклю-

чить, что температурный шаг все же слишком велик и мы попросту не замечаем скачка. Поэтому мы использовали установку, позволяющую осуществлять постепенное безынерционное изменение температуры в реакторе от одного замера к другому с самым малым шагом, буквально в 1–2°C.

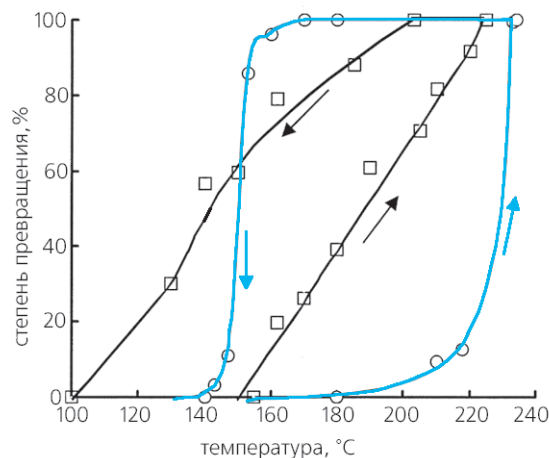
Во-вторых, общий вид гистерезисных кривых очень мало зависел от того, какой катализатор использовался, и был ли он с подложкой или без нее. Так, петли гистерезиса в реакции окисления монооксида углерода на оксиде меди без носителя и в той же реакции, но на металлическом палладии, нанесенном на подложку из оксида алюминия, оказались весьма похожими. Более того, довольно близкими были и температурные интервалы, в которых разыгрывались гистерезисные явления в обеих каталитических системах. Приведенный пример — далеко не единственный, а один из множества. Как мы уже гово-

рили, катализатор переходит в новое стационарное состояние под влиянием реакционной среды, и трудно предположить, чтобы она одинаково воздействовала и на оксид меди, и на металлический палладий. Слишком различны они по своей природе.

В-третьих, подобные явления наблюдались не только на разных катализаторах, но и в разных реакциях. Например, при гидрировании монооксида углерода до метана (эту реакцию называют еще метанированием) на никелевом катализаторе с подложкой температурная зависимость степени превращения CO в CH₄ имела явное сходство с зависимостями в только что приведенных реакциях окисления CO. Гидрирование (восстановление) и окисление — совершенно разные реакции, в определенном смысле они даже противоположны, а вид кривых и температурные диапазоны весьма близки. Мы провели и метанирование, и окисление



Температурная зависимость степени гидрирования (метанирования) СО на никелевом катализаторе с подложкой. Эта восстановительная реакция противоположна окислению, но петли гистерезиса и его температурный интервал сходны.



Температурные зависимости степени метанирования (цветная кривая) и степени окисления СО на никелевом катализаторе. Эти столь различающиеся реакции проведены на катализаторе, специально разработанном для метанирования. Именно поэтому гистерезисный эффект в первом случае сильнее.

СО на одном и том же никелевом катализаторе, специально разработанном для метанирования, — и в обоих случаях выявили температурный гистерезис. Естественно, что его петли отличались, так как катализатор изначально предназначен для гидрирования, которое и имело некоторое преимущество. Множественностью стационарных состояний объяснить описанные наблюдения было бы затруднительно, потому что действие на катализатор окислительной реакционной среды и восстановительной принципиально отличается. Свойства поверхности катализатора в столь разных средах просто не могут меняться одинаково.

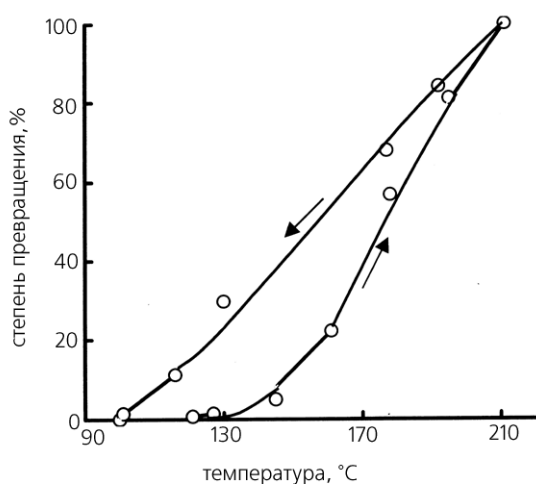
Как мы видим, характер температурных зависимостей явно не связан ни с типом реакции, ни с природой катализатора. Таким образом, вклад множественности стационар-

ных состояний в появление температурного гистерезиса, по крайней мере в рассмотренных случаях, не может быть решающим.

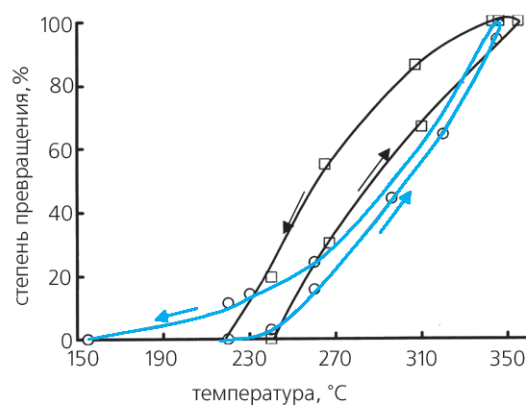
Тогда как же объяснить описанные явления? Прежде всего обратим внимание, что окисление СО, метана, бензола и водорода, синтез аммиака, а также метанирование СО (добавим к этому и гидрирование пропилена, о котором еще пойдет речь) — это экзотермические реакции, т.е. идут они с выделением, а не с поглощением тепла. Вряд ли это обстоятельство, на которое до сих пор фактически не обращали внимания, может быть случайным. Единственное исключение — эндотермическая реакция изотопного обмена между водородом и дейтерием, которое, возможно, как раз и подтверждает правило.

Итак, будем считать установленным, что в гетероген-

ных каталитических реакциях, которым свойствен температурный гистерезис, выделяется избыточная тепловая энергия в слое катализатора. Благодаря этому в его активных центрах, где собственно и протекает химическое превращение, температура становится выше, чем в соседних неактивных местах. Иными словами, возникает градиент температуры. Но избыточное тепло должно рассеиваться. В твердых телах рассеяние, или диссипация, энергии осуществляется главным образом путем контактной теплопроводности. Напомним, что при создании катализатора для гетерогенных реакций стремятся как можно больше увеличить поверхность его активного компонента. Для этого, как правило, используют неактивный пористый носитель — он позволяет увеличить удельную поверхность катализато-



Температурная зависимость степени гидрирования пропилена на никелевом катализаторе с подложкой. Гистерезис в этой реакции, по сравнению с гидрированием CO, менее значителен, ниже и тепловой эффект: гидрирование пропилена протекает с выделением 124 кДж/моль, а монооксида углерода — 206 кДж/моль. Значит, чем больше теплота реакции, тем сильнее гистерезис.



Петли гистерезиса, возникающие в реакциях, проводимых на чистых металлических катализаторах. Видно, что гистерезисный эффект очень невелик и в окислении монооксида углерода на платиновой фольге (цветная кривая), и в его метанировании на никелевой проволоке.

ра до нескольких сотен квадратных метров на грамм его массы. Пористые материалы, как известно, очень плохо проводят тепло (именно их используют в качестве теплоизоляторов), а массивные металлы, напротив, — прекрасно.

Таким образом, в катализаторах, которые состоят из активных частиц, вкрапленных в массу неактивного пористого носителя (подложки), должны возникать сильные локальные перегревы при проведении экзотермических реакций. Если даже носитель не используется, роль плохо проводящей тепло окружающей массы может играть неактивная составляющая самого катализатора, ибо доля активных центров в нем весьма невелика, они фактически вкраплены в неактивный материал. Чтобы увеличить доступную для реагентов поверхность, катализаторы обычно измельчают, а это, ес-

тественно, затрудняет теплоотвод. Если же катализатор представляет собой массивный металл, возможность локального перегрева активных центров минимальна.

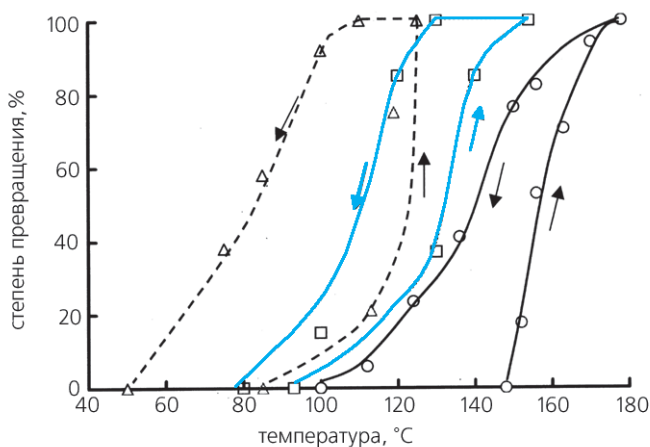
Теперь представим себе, что мы ввели в реактор с катализатором смесь компонентов, способных реагировать с выделением тепла, и начали нагревание. Через некоторое время они вступают во взаимодействие между собой, и скорость реакции увеличивается по мере роста температуры. Выделяющееся при этом тепло по указанным уже причинам не успевает рассеяться, в результате температура активного центра дополнительно повышается. Но мы не можем этого заметить, потому что измеряем лишь среднюю температуру в слое катализатора. Именно при этой измеренной температуре и фиксируется скорость реакции или

степень превращения, хотя фактическая температура активного центра может быть намного выше. То же самое происходит в следующей температурной точке (при следующем замере степени превращения реагентов) и т.д. С ростом скорости реакции выделяется все больше тепла и все больше повышается температура активного центра, так что восходящая ветвь температурной зависимости круче и круче уходит вверх. Когда же мы начнем постепенно охлаждать реактор, степень превращения рано или поздно тоже будет снижаться. Но это снижение окажется меньше ожидаемого, потому что истинная температура активного центра превышает измеряемую. Откладывая на нисходящей кривой точку с определенной степенью превращения, мы «не замечаем», что фактически она должна была бы находиться правее на

температурной шкале. В итоге возникает петля гистерезиса «против часовой стрелки».

С предложенным объяснением полностью согласуется и требование экзотермичности реакции, в которой наблюдается температурный гистерезис, и наличие промежуточных точек на кривой, отражающей температурную зависимость, и возрастающая крутизна восходящих ветвей, и практическая независимость вида петли гистерезиса от природы катализатора и типа реакции. Высказанные соображения приводят к выводу, что температурный гистерезис имеет не столько химическое, сколько физическое происхождение.

Как известно, наилучшим критерием правильности любой гипотезы служит ее предсказательная способность. Попробуем проверить нашу концепцию локальных перегревов активных центров катализатора. Если мы правы, гистерезисный эффект должен быть тем сильнее, чем больше теплота реакции. Будем судить о его величине по ширине петли гистерезиса, которую можно оценивать разными способами, но проще всего — по разности температур на восходящей и нисходящей ветвях в точках, отвечающих одной и той же степени превращения (скажем, 30%). Понятно, что чем больше тепла выделяется в каждом химическом акте, тем сильнее разогревается активный центр и тем выше температурный градиент. Расположим исследованные нами реакции с температурным гистерезисом в порядке уменьшения их теплот: окисление СО — 283 кДж/моль, метанирование СО — 206 кДж/моль, гидрирование пропилена — 124 кДж/моль. В первой из них гистерезисный эффект наиболее силен: даже после полного прекращения нагрева температура не понижается до комнатной, а окисление не останавливается, оно продолжает-



Температурные зависимости степени окисления СО на катализаторах, содержащих 51 (штриховая кривая), 29 (цветная кривая) и 8% оксида меди. Как видно из графиков, гистерезисный эффект усиливается по мере увеличения концентрации CuO .

ся в так называемом режиме самоподдержания, за счет собственной теплоты реакции*. Во второй реакции эффект тоже весьма значителен, но в этом случае ширина петли гистерезиса вполне конечна, ибо она замкнута, тогда как при окислении СО петля по сути остается открытой. Ясно, что гистерезисный эффект в первой реакции сильнее, чем во второй. Наконец, в третьей реакции — гидрировании пропилена — гистерезис наименьший. Следовательно, как и предсказывает концепция локальных перегревов, по величинам теплот исследованных реакций и по ширине петли гистерезиса они располагаются в одной и той же последовательности.

* Возникает заманчивая возможность, однажды запустив реакцию (т.е. осуществив «зажигание»), далее поддерживать ее, не подводя внешнюю энергию. Это принципиально осуществимо, но, к сожалению, в довольно узком диапазоне соотношений реагентов — монооксида углерода и кислорода.

Если реакция эндотермическая, т.е. идет с поглощением тепла, или ее тепловой эффект близок к нулю, ожидать проявления в ней температурного гистерезиса, видимо, не следует. Мы проверили и это, выбрав в качестве эндотермической реакции дегидрирование изобутана, а реакции, идущей практически без теплового эффекта, — изомеризацию бутена-2 в бутен-1. Как и ожидалось, в обоих случаях гистерезис на кривых зависимости степени превращения исходных соединений от температуры не был обнаружен.

Проверим еще один прогноз. Мы уже довольно подробно сравнивали предполагаемое поведение металла, вкрапленного в неактивный носитель, и массивного металла без носителя и в результате пришли к заключению, что в последнем случае температурный гистерезис если и может возникнуть, то должен быть минимальным. Это пред-

положение полностью подтвердилось в опыте: в реакциях окисления СО на платиновой фольге и его метанирования на никелевой проволоке петли гистерезиса были несравнимо уже, чем в тех же реакциях на катализаторах с подложкой.

Величина гистерезисного эффекта должна зависеть и от содержания в катализаторе активного компонента. Согласно концепции локальных перегревов, с увеличением его концентрации, а значит, и концентрации активных центров, возрастает выделение тепловой энергии в экзотермической реакции. Следовательно, одновременно должен усиливаться и температурный гистерезисный эффект. Это и было выявлено нами в серии опытов по окислению монооксида углерода на медьсодер-

жащих катализаторах с разным количеством оксида меди (8, 29 и 51%), нанесенных на подложку: чем больше было CuO в катализаторе, тем шире становились петли гистерезиса, которые к тому же смещались в область более низких температур.

Итак, довольно много наблюдений свидетельствуют в пользу того, что температурный гистерезис «против часовой стрелки» в гетерогенном катализе обязан своим происхождением локальному перегреву активных центров катализатора в результате выделения избыточного количества тепла в экзотермической реакции. Чем обусловлен гистерезис «по часовой стрелке», еще предстоит выяснить.

Излагая свои представления о причинах гистерезисных явлений, мы, конечно,

опустили целый ряд экспериментальных подробностей, некоторые наблюдения и сопутствующие соображения. Мы пытались, в первую очередь, описать логику исследования, цепочку умозаключений, которые привели нас к развиваемой нами концепции. Наша работа далеко не закончена, она продолжается и сейчас, и в ней возможны, разумеется, еще многие повороты. Нам бы хотелось, чтобы изложенные здесь представления стали одним из кирпичиков того фундамента, на котором строится громадное и очень непростое здание науки о катализе. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 99-03-32169.

Вулкан на аргентино-чилийской границе

В ночь на 1 июня 2000 г. в городке Копагуэ, что в аргентинской провинции Неукен, у чилийской границы, шел сильный снег. Удивительного здесь ничего нет: в это время в Южном полушарии разгар зимы, да и высота местности в предгорьях Кордильер не могла не сказываться на погоде. Станным было другое: от снега исходил острый запах серы. Утром со стороны горы ветер стал приносить пепел, а потом и камешки размерами с горошину и грецкий орех — так о новом пробуждении заявил вулкан Копагуэ. На следующий день ярость стихии только усилилась; после серии глухих взрывов из кратера стали вылетать камни поперечником до 15 см, достигая пос.Ковигуэ, что в 8—9 км от вулкана (Bulletin of the Global Volcanism Network. 2000. V.25. №6. P.7. США).

На место событий прибыли

представители аргентинской Гражданской обороны и чилийской Национальной гвардии, а также геологи и вулканологи обеих стран. Власти объявили «желтую тревогу», по которой доступ туристам в район был запрещен, а около 200 жителей наиболее опасной зоны эвакуированы. Ученые, с трудом пробираясь сквозь полную тьму из-за пеплопада и пренебрегая опасностью, взяли свежие вулканические образцы. Анализ показал, что это смесь мельчайших частиц оксида кремния и серы, выброшенных непосредственно из кратера.

Совершавшие облет горы летчики и ученые сообщили, что столб пепла поднялся на 10.6 км над землей. В опустевшем пос.Ковигуэ за 12 часов насчитали 37 почти ритмично раздававшихся взрывов; самый сильный вызвал лавину из раскаленных камней, скатившихся по склонам горы. Через трое суток из городка, расположенно-

го вниз по течению местной реки, спустилась масса мертвой рыбы: воды озера, из которого эта река вытекает, стали очень кислыми, погубив все живое.

Аргентинский вулканолог Д.Дельпино (D.Delpino) установил, что извержение относится к стромболианскому типу (название происходит от характера активности итальянского островного вулкана Стромболи, печально известного еще с античных времен): лава в этих случаях бывает жидкой, а взрывы в жерле повторяются, подобно ритмичному пульсу. По руслу вздыбившейся речки Агрио понеслись глыбы льда, оторвавшиеся от постоянной горной шапки. Кислотность воды поднялась до небывалого уровня (pH = 1.5).

На десятые сутки взрывы усилились; тучи пепла, сменившие окраску с серой на темно-коричневую, вторглись на территорию Чили и засыпали около 25 км². Над наиболее активным крате-

ром Эль-Агрио встало облачко газов с сильным серным запахом. Вскоре облако заполнило долину реки на площади 10 км², угрожая жизни всякого, кто там бы оказался. Взрывы участились, следуя один за другим каждые 2—5 мин.

Группе специалистов из чилийской Южно-Андской вулканологической обсерватории с трудом удалось подняться по глубокому снегу и установить переносную сейсмическую станцию всего в 2 км от активного кратера. Пробы в опасной зоне 15 ч, они покинули ее, когда сели батареи приборов.

Экипажи самолетов докладывали о сильном запахе серы на высоте более 2 тыс. м в 250 км от горы. Поперечник столба пепла в воздухе достигал 15 км. Взятые образцы оказались насыщены фтором. Оставшийся в горах скот отказался от покрытой пеплом травы, и его пришлось угонять в лежащие внизу долины. Буйство стихии продолжалось и в августе 2000 г.

Вулкан Копагуэ отнюдь не молод. Геологи и геохимики установили, что конус изверженных пород, лежащий посередине его 8-километровой кальдеры, сформировался еще 600 тыс. лет назад. В другом кратере издавна существует целое озеро высококислотной воды. А всего на горе насчитывается девять кратеров, вытянувшихся в довольно правильную шеренгу. Из них почти постоянно выделяются клубы пара и дыма. Еще в XVIII в. здесь временами слышались глухие взрывы. Довольно сильные извержения случались в 1992 и 1995 гг., но их активность была далека от той, которую Копагуэ проявил в 2000 г.

Каменные орудия первых американцев

На конференции Американского археологического общества (Филадельфия, апрель 2000 г.) группа археологов во главе

с Д.Станфордом (D.Stanford) представила результаты раскопок, проведенных ими в 70 км к югу от Ричмонда (штат Виргиния), в районе песчаных холмов Кактус-Хилл. Здесь найдены предметы, относящиеся к материальной культуре кловис. Ничего необычного в этом нет: подобные каменные орудия, отличающиеся довольно правильной формой, встречаются в Северной Америке часто. На стоянке Кактус-Хилл они уверенно датируются временем, отстоящим от нас примерно на 10 тыс. лет (Science. 2000. V.288. №5464. P.247. США).

Повышенный же интерес археологов вызвали примитивные каменные наконечники метательного оружия, найденные в слое, расположенном на 15 см глубже. Радиоуглеродный анализ связанного с ними древесного угля показал, что эти предметы древнее кловисских на 5—8 тыс. лет.

В изучении находки участвовали 15 независимых экспертов. Геохимики Д.Буш и Дж.Фитерс (D.Bush, J.Feathers), используя специальный фосфоресцентный метод, достаточно точно определили время, истекшее с тех пор, как песчинки грунта в последний раз освещались солнечным светом, и подтвердили: находке не менее 15 тыс. лет.

Еще одним важным аргументом в пользу существования здесь докловисской культуры послужило то, что орудия, найденные в Кактус-Хилле, близки по форме к предметам, обнаруженным ранее в штате Пенсильвания. Значит, последняя находка не случайный изолированный факт.

Кругосветные плавания бактерий в балластных цистернах судов

Ежегодно суда перед заходом в порты США сливают в целом около 80 млн т воды, закачанной в балластные цистерны в других

районах Мирового океана. Г.Руис (G.Ruiz; Смитсоновский центр исследований окружающей среды, штат Мэриленд, США) проанализировал состав балластных вод в судах, стоявших на якоре в Чесапикском заливе, и обнаружил, что в них содержатся бактерии (в том числе холерный вибрион) и вирусы. В литре воды концентрация бактериальных клеток достигала почти 1 млрд, а вирусных частиц — более 7 млрд (Sciences et Avenir. 2000. №646. P.41. Франция). Руис не сомневается, что кроме холерного вибриона в балластных водах находятся и другие опасные для человека микробы-«пассажиры». Сейчас проводятся работы по их идентификации.

Массовая гибель грифов

Грифы в Индии с 1997 г. поражены каким-то тяжелым недугом, причина которого до сих пор не установлена. В наиболее острой форме заболевание протекает у двух видов грифов — бенгальского (*Gyps bengalensis*) и индийского сипа (*Gyps indicus*): птица неподвижно сидит на насесте, неестественно наклонив голову, затем падает на землю и погибает.

Это вызывает обеспокоенность индусов, особенно парсов, поскольку гибель птиц может нарушить их традиционные, насчитывающие уже 3200 лет, обряды: парсы — приверженцы зороастризма и, согласно своим верованиям, отдают тела умерших на растерзание грифам, чтобы не осквернять священные стихии (огонь, воду, воздух и землю). Пока специалисты работают над установлением причин массовой гибели грифов, парсы намерены создать программу их искусственного разведения (Sciences et Avenir. 2000. №646. P.50. Франция).

Сколько азота несут сибирские реки?

П.Н.Маккавеев,

кандидат географических наук
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН

Р.М.Холмс

Морская биологическая лаборатория Экосистемного центра
(Вудс Хол, США)

По прогнозам климатологов, глобальное потепление будет наиболее заметным в высокоширотных районах. Полагают, что при повышении средней планетарной температуры в текущем столетии на 3°C, в тропиках она увеличится всего на 1–2°C, а в Арктике — на целых 9°C [1]. Столь сильное изменение климата должно отразиться на арктических экосистемах и их связях. Многие исследователи считают, что этот процесс уже начался: сократились площади, занятые морскими льдами, активно разрушаются берега, сложенные мерзлотными породами.

Большую роль в формировании гидрологического и гидрохимического режима морей Арктики играют реки. Они приносят в Северный Ледовитый океан столько воды в год, что, если ее равномерно распределить по всей акватории, получится слой толщиной в 35 см. Реки дренируют огромные пространства суши, поэтому величина их стока и химический состав вод не только интегральные показатели состояния бассейна водосбора — они и индикаторы климатических изменений.

Для Северного Ледовитого

океана реки служат и главным источником необходимых для развития жизни веществ — растворенных неорганических соединений фосфора, азота и кремния. В морях Евразийского сектора Арктики в настоящее время биологическая продуктивность убывает с запада на восток. Наибольшая она в Баренцевом море (табл.1), куда попадают теплые и богатые биогенными элементами воды Атлантического океана. С грядущим потеплением термический режим, возможно, окажется более благоприятным для развития жизни и в других морях. Кроме того, при разрушении мерзлоты высвободится большое количество органического вещества, ранее захороненного в почвах, и увеличится приток биогенных элементов с речными водами.

Вот почему гидрохимический состав стока рек Сибири становится все более важным объектом для специалистов, занимающихся не только реками, но и морями. В 1999 г. группа российских и американских исследователей рассчитала среднемесячные и годовые потоки нитратов, аммонийного азота и фосфатов, которые принесли в океан 15 крупных рек Сибири с 1970 по 1995 г., пользуясь данными ла-

бораторий Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды [2]. Эти лаборатории с 1992 г. перешли в ведомство Федеральной службы по наблюдению и контролю за загрязнением природной среды. (В дальнейшем мы будем называть их лабораториями Гидрометеослужбы.) Нужно сказать, что во времена СССР система контроля качества воды была одной из наиболее развитых в мире, а лаборатории, в которых определялся ее состав, существовали на всех более или менее значимых реках. Правда, еще недавно материалы этих служб были сугубо ведомственными и практически недоступными для специалистов других институтов, и тем более иностранцев.

Результаты подсчетов (табл.2) привели к неожиданным выводам. Во-первых, сток азота в виде аммония для Оби оказался самым высоким в мире. К примеру, Амазонка, выносящая в океан в 10 раз больше воды и протекающая через богатейшие органическим веществом тропические леса, выносит в океан аммония в два раза меньше. Во-вторых, для всех рек, охваченных сетью лабораторий Гидрометеослужбы, содержание этого вещества значительно превыша-

Таблица 1
Характеристики арктических морей России

Моря	Площадь, тыс. км ²	Речной сток, км ³ /год	Первичная продукция фитопланктона, млн т/год
Баренцево	1300	430	78–80
Карское	893	1344	13.5
Лаптевых	672	745	10.2
Восточно-Сибирское	944	250	14
Чукотское	582	20.4	12.7

Таблица 2
Годовой сток биогенных элементов с речными водами*

Реки	Сток в океан, тыс. т/год		
	N(NH ₄)	N(NO ₃)	P(PO ₄)
Обь	287.4	34.8	23.5
Енисей	207.8	18.4	6.2
Лена	39.4	19.5	3.5
Таз	30.5	0.75	2.8
Пур	24.3	0.74	3.0
Печора	17.8	7.1	4.2
Северная Двина	14.9	6.7	2.0
Надым	12.2	0.55	2.0
Яна	6.8	1.2	0.36
Колыма	5.2	2.5	0.76
Индигирка	3.8	2.3	0.35
Оленек	2.7	0.78	0.23
Мезень	2.2	0.71	0.44
Анадырь	1.9	0.09	0.03
Онега	1.6	0.99	0.15
Амазонка	131.8	1021.5	160.7
Миссисипи	21.2	740.6	71.4
Юкон	9.1	21.7	2.1

* Расчеты для сибирских рек сделаны группой специалистов по данным лабораторий Гидрометеослужбы (Р.М.Холмс, 2000).

ет все остальные формы растворенного неорганического азота, хотя, по другим экспериментальным данным, в речных водах преобладают, как правило, нитраты.

Каким же данным доверять? И действительно ли реки Сибири уникальны по составу гидрохимического стока и роли в глобальном биогеохимическом цикле азота? Эти вопросы и натолкнули нас на мысль о независимых гидрохимических исследованиях в

устьях сибирских рек. В экспедиции 2000 г. кроме авторов статьи приняли участие А.С.Жулидов, Л.И.Косьменко из Ростовского гидрохимического института (РГИ), Б.Петерсон из Морской биологической лаборатории Экосистемного центра (Вудс Хол, США), П.А.Стунжас и П.В.Хлебопашев — гидрохимики Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН (ИОРАН) и некоторые другие. Привлечение химиков «морских», несмотря на силь-

ное в некоторых случаях различие методов их работы с методами химиков «речных», имело несколько достаточно веских причин. Первые приехали иметь дело с содержанием в морской воде биогенных элементов на порядок или два ниже, чем в речной, и, следовательно, применяют более точные и чувствительные методы анализа. Они не связаны инструкциями, строго обязательными для сотрудников государственных лабораторий, и свободны от ведомственных предрассудков, а значит, могут выступить в роли независимых экспертов. Финансировал экспедицию Национальный научный фонд США при поддержке Министерства науки и технологий РФ в рамках проекта «Гидрохимические критерии состояния вод океанов в условиях антропогенного развития».

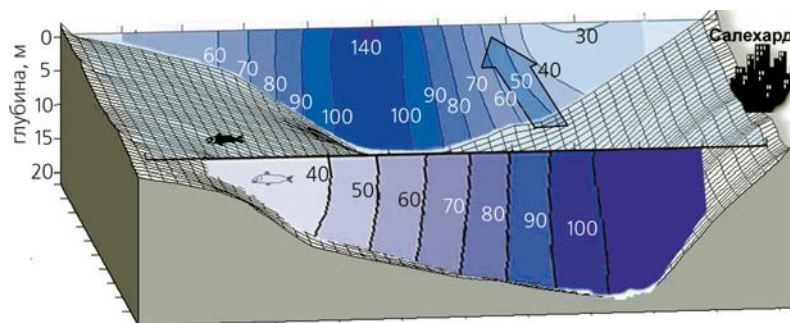
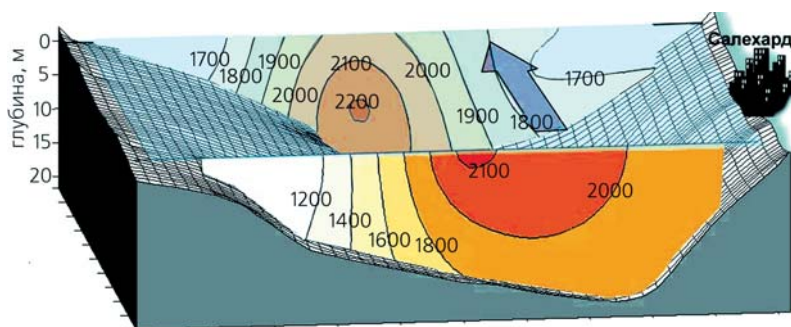
В устьях Оби и Енисея

Из всех сибирских рек Обь и Енисей имеют наибольшие площади водосбора и дренируют около 5.4 млн км² суши. Эти две реки несут в Северный Ледовитый океан более 980 км³ воды в год, и их влияние на арктические моря весьма существенно. Мы работали на Оби (г.Салехард) с 7 по 19 июня, на Енисее (г.Дудинка) с 23 по 29 июня 2000 г. (К сожалению, для столь обширной и важной задачи сроки проведения работ были очень сжатыми.)



Снег и потоки талой воды на берегах Енисея.

Здесь и далее фото Р.М.Холмса



Распределение растворенного неорганического кремния (вверху) и нитратного азота (мкг/л) на двух створах р.Обь (выше и ниже Салехарда). Стрелка — направление течения. Содержание этих веществ в русле реки может изменяться на протяжении 2-3 км в несколько раз.

В Салехарде и Дудинке базами экспедиции стали лаборатории Комитета охраны природы Ямало-Ненецкого и Таймырского округов, оснащенные значительно лучше лабораторий Гидрометеослужбы. Без помощи их сотрудников нашей экспедиции вряд ли бы удалось получить какие-либо результаты.

На Оби были проведены две съемки — 11 и 17 июня. На створах выше Салехарда, на траверзе о.Татарский, и ниже города отбирались пробы поверхностной, придонной воды, а иногда из середины водного столба на трех так называемых вертикалях (левый берег, середина реки, правый берег). Работы вели с катера «Ярославец», пользуясь для отбора проб ручной гидрологической лебедкой и речным батометром. На борту катера проводилась подготовка и



Экспедиция 2000 г. Слева направо: в нижнем ряду — Б.Петерсон (США), П.Н.Маккавеев, А.В.Жулидов, А.И.Шекломанов, в среднем ряду — П.В.Хлебопашев, А.И.Копылов, Л.С.Косьменко, П.А.Стунжас, в верхнем ряду — Г.Х.Колер (Германия), Р.М.Холмс (США).

Катер «Ярославец».

Гидрометеорологическая станция на Оби.

Шторм на Енисее.



Таблица 3
Гидрохимические характеристики вод Оби и Енисея (мкг/л) по результатам экспедиции

Параметр	Обь, профиль 1 11.06.00	Обь, профиль 2 11.06.00	Обь, профиль 1 17.06.00	Обь, профиль 2 17.06.00	Енисей 26.06.00
pH	7.53	7.48	7.34	7.25	7.05
O ₂ *	7.00	6.71	7.17	6.24	6.76
PO ₄	44	35	50	30	16
Si	1885	1782	1840	1739	2229
NO ₂	1.4	1.9	1.5	1.6	0.6
NO ₃	72	117	68	101	10.1
NH ₄	39	22	32	25	14

* Содержание O₂, мл/л.

Таблица 4
Средние величины содержания биогенных элементов (мкг/л) в низовьях Оби и Енисея

	Методы анализа	г.Салехард			г.Дудинка		
		N(NH ₄)	N(NO ₃)	P(PO ₄)	N(NH ₄)	N(NO ₃)	P(PO ₄)
Результаты экспедиции (июнь 2000 г.)	Нестлера	1074	66	42	259	15	12
	фенолят-гипохлоритный*	15.8	89.5	39	14	10.1	16
	фенолят-гипохлоритный**	12	-	-	10	-	-
	флуорометрический	11	-	-	10	8.1	-
Средние многолетние данные***		710	90	58	360	30	11

* Модификация ИОРАН.

** Модификация РГИ.

*** По данным лабораторий Гидрометеослужбы (Р.М.Холмс, 2000).

консервация проб, которые затем доставлялись в лабораторию, где определялись pH, содержание растворенного кислорода, растворенных неорганических соединений фосфора, кремния, нитратов, нитритов и аммония. Кроме того, пробы неоднократно отбирались с берега. По такой же схеме мы работали на Енисее. Там была проведена одна съемка 26 июня на створе выше порта с отбором проб на семи вертикалях.

При определении содержания большинства содержащихся в воде биогенных веществ использовались стандартные методы гидрохимических исследований, и особых проблем здесь не возникало [3]. Сложнее было с аммонийным азотом — самым важным для целей нашей экспедиции. Здесь мы применяли несколько различных способов — модификаций так называемого

метода, разработанных в ИОРАНе и РГИ, флуорометрический метод Морской биологической лаборатории в Вудс Холе. Эти данные сравнивали с материалами, полученными в это же время методом Нестлера в лабораториях Гидрометеослужбы.

По данным измерений, выявилась значительная неоднородность гидрохимических характеристик как по вертикали, так и по профилю обеих рек, несмотря на значительную скорость течения. Другими словами, воды, поступающие с различных участков водосбора, сохраняли в главном русле свои особенности достаточно длительное время, что при ширине реки более 3 км и не удивительно. Можно вспомнить, что на упоминавшейся уже Амазонке после слияния «белых» и «черных» вод ее притоков граница меж-

ду ними видна на поверхности в 40—120 км от места их впадения в основной поток. Основные характеристики гидрохимического стока Оби по профилям, расположенным выше и ниже города, отличались незначительно (табл.3).

Работы здесь проходили при спаде весеннего половодья, когда река питается склоновыми, а не склоново-грунтовыми или только почвенно-грунтовыми водами [4]. Это достаточно хорошо отразилось на гидрохимическом составе вод во время первой и второй съемок. Выше и ниже города уменьшилось содержание растворенного кислорода и соответственно pH, а также силикатов и иона аммония, но в то же время возросла концентрация нитратов и нитритов. В сумме растворенных неорганических соединений азота, при общем ее увеличении, повысилась доля более окисленных — NO₃.

Из-за различного характера водосборов гидрохимический состав Оби и Енисея неодинаков, что было замечено в их устьях еще в 1993 г., во время экспедиции на научно-исследовательском судне «Дмитрий Менделеев» [5].

Для вод Енисея, протекающего в основном по твердым, коренным породам, характерно более высокое содержание кремния и более низкие концентрации основных биогенных элементов, чем для Оби, водосбор которой охватывает главным образом заболоченную равнинную территорию.

Основной же результат наших исследований в том, что впервые появилась возможность сравнить данные, полученные различными методами при определении содержания биогенных веществ (табл.4). Концентрации нитратов и фосфатов (а также растворенного неорганического кремния) не сильно отличаются друг от друга. А вот содержание главного «героя» нашей истории — аммонийного азота, измеренного с помощью метода Нестлера, который и сегодня применяется в лабораториях Гидрометеослужбы, на один-два порядка выше, чем определенное другими способами.

Другими словами, имеется основание считать, что на протяжении многих лет накапливаются явно недостоверные данные. Это вдвойне

обидно, поскольку персонал лабораторий работает с большим энтузиазмом, несмотря на устаревшее оборудование и мизерную зарплату, — в этом мы убедились, побывав в нескольких таких лабораториях. Дело в том, что, по нашему мнению, метод Нестлера непригоден для анализа вод с высоким содержанием взвеси и органики. Это совсем не наше открытие — еще в 30-х годах известный гидрохимик С.В.Бруевич отмечал, что использовать его в таких целях можно только после дистилляции (перегонки) пробы, а не простой фильтрации, которой явно недостаточно и которая все же делается. Когда-то метод Нестлера был единственным для определения аммония в природных водах, затем появились гораздо более чувствительные способы, и метод Нестлера рекомендуется в некоторых руководствах лишь для определения аммония в бытовых и сточных водах, что и делают в тех лабораториях в Салехарде и Дудинке, где мы проводили свои исследования.

Наиболее современный способ определения аммонийного азота — флуорометрический, им пользовались наши американские коллеги, но в России он еще не развит. А вот модификации фенолят-гипохлоритного метода (в нашей экспедиции одну из них для

речных вод сделал П.А.Стунжас), хорошо «работающие» при наличии примесей, достаточно надежны и широко применяются в морской гидрохимии. По какой-то непонятной причине они не были внедрены в сети государственных лабораторий. Поскольку завышенные содержания аммонийного азота, вызванное применением методики Нестлера, носит несистематический характер и различно в разных водоемах, возможности исправить эту ошибку нет. Таким образом, весь массив данных о содержании аммония в сибирских реках ненадежен, как и данные о стоке соединений азота в Северный Ледовитый океан: делать по ним выводы о влиянии антропогенных причин на экосистемы Арктики и о климатических изменениях нельзя.

Как же помочь делу? Сложно давать рецепты, но совершенно ясно, что лабораториям Гидрометеослужбы необходима материальная и методическая помощь, чтобы внедрить новые методы определения содержания биогенных элементов в речной воде. К сожалению, широко проводимая в настоящее время кампания по аттестации и сертификации таких лабораторий, хотя и служит целям повышения качества результатов анализа, гарантий, что будут получены достоверные данные, не дает. ■

Литература

1. Семилетов И.П., Пипко И.И., Пугач С.П. Глобальное потепление и цикл углерода в Арктике // Тр. Арктического регионального центра. Т.1.: Климатическая и межгодовая изменчивость в системе атмосфера—океан—суша в Америко-Азиатском секторе Арктики. Владивосток, 1998. С.191—194.
2. Holmes R.M., Peterson B.J., Gordeev V.V. et al. // Water Resources Research. 2000. V.36. №8. P.2309—2320.
3. Современные методы гидрохимических исследований океана / Под ред. О.К.Бордовского. М., 1992.
4. Воронков П.П. Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР. Л., 1970.
5. Маккавеев П.Н., Стунжас П.А. // Океанология. 1994. Т.34. С.662—667.

Свет из гетеропереходов

А.Э.Юнович

Если говорить о пути от фундаментальных научных идей, основанных на сложных теоретических понятиях, до изобретений, революционизирующих технику и промышленность, то для физики полупроводников этот путь, пожалуй, наиболее краток. Самые яркие примеры таких преобразований в технике, которые качественно подняли уровень жизни людей, — изобретение транзисторов, последующее развитие полупроводниковой электроники и создание компьютеров во второй половине XX в. Компьютеризация кардинально изменила характер высоко технологичных производств, организацию труда на всех уровнях управления, стала основой современных средств связи.

Похожие по своей значимости перспективы возникли в той области физики полупроводников, которая изучает люминесценцию — излучательную рекомбинацию электронов и дырок. Это явление позволило создать полупроводниковые источники света — светодиоды и инжекционные лазеры.

Первые открытия здесь были сделаны в нашей стране



Александр Эммануилович Юнович, доктор физико-математических наук, профессор физического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов связана с физикой полупроводников и твердотельной электроникой.

еще в 1923 г. О.В.Лосевым, работавшим в Ленинградском физико-техническом институте и Нижегородской радиотехнической лаборатории. Лосев писал: «У кристаллов карборунда (полупрозрачных) можно наблюдать (в месте контакта) зеленоватое свечение при токе через контакт всего 0.4 мА... Светящийся детектор может быть пригоден в качестве светового реле как безынертный источник света» [1].

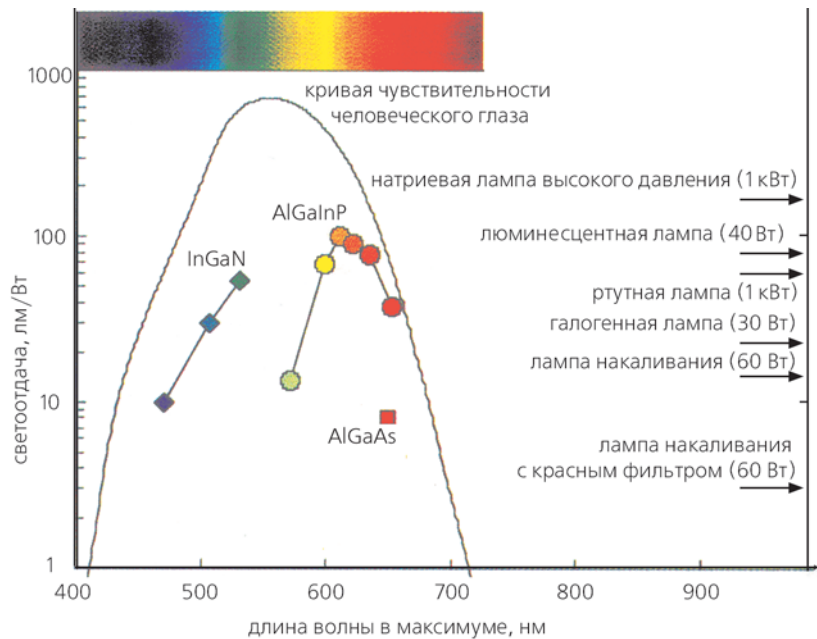
Однако реализованы на практике эти идеи были лишь в 60—70-е годы, после обнаружения эффективной люминесценции полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^V$ — фосфида и арсенида галлия и их твердых растворов. В итоге на их основе были созданы светодиоды и таким образом заложен фундамент новой отрасли техники — оптоэлектроники [2].

Советские ученые внесли в развитие данной области су-

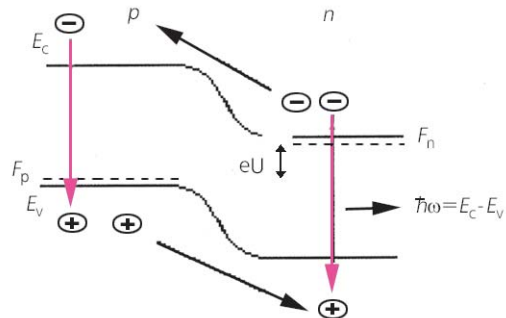
щественный вклад. Ж.И.Алфёров (академик, директор Физико-технического института им.А.Ф.Иоффе, лауреат Ленинской премии) получил золотую медаль Американского физического общества за исследование гетероструктур на основе $Ga_{1-x}Al_xAs$ еще в 70-х годах. В 2000 г., когда стало ясно, как велико значение этих работ для развития науки и техники, насколько важны их практические применения для человечества, ему была присуждена Нобелевская премия [3, 4].

На рубеже 90-х годов наша промышленность выпускала более 100 млн светодиодов в год; мировая — десятки миллиардов. Диоды нашли применение в передаче и визуализации информации: в световых индикаторах, табло, в приборных панелях автомобилей и самолетов, в рекламных экранах. Эффективность излучателя света характеризуется отношением светового потока (в люменах) к потребляемой электрической мощности (в ваттах). Эта величина, называемая светоотдачей, для светодиодов из материалов типа $A^{III}B^V$ стала больше, чем у ламп накаливания во всех основных цветах видимого диапазона [5].

Очень привлекательна идея использовать светодиоды для обычного освещения, поскольку сочетание их с люминофорами позволяет получить белый свет. Потребление электроэнергии у них меньше, чем у обычных ламп, кроме того, они долговечнее, надежнее и безопаснее и ламп накаливания, и люминесцентных. Американская программа исследований, разработок и промышленного выпуска световых приборов и устройств с их использованием, рассчитанная до 2010 г., предполагает в результате получить экономию такого количества электроэнергии, которое производят 100 атомных электростанций.



Светоотдача приборов на основе гетероструктур с активными слоями InGaN и AlInGaP на длинах волн, отвечающих максимуму излучения. Стрелки справа показывают светоотдачу вакуумных и газонаполненных ламп; кривая — спектральную чувствительность глаза (кривая видности).

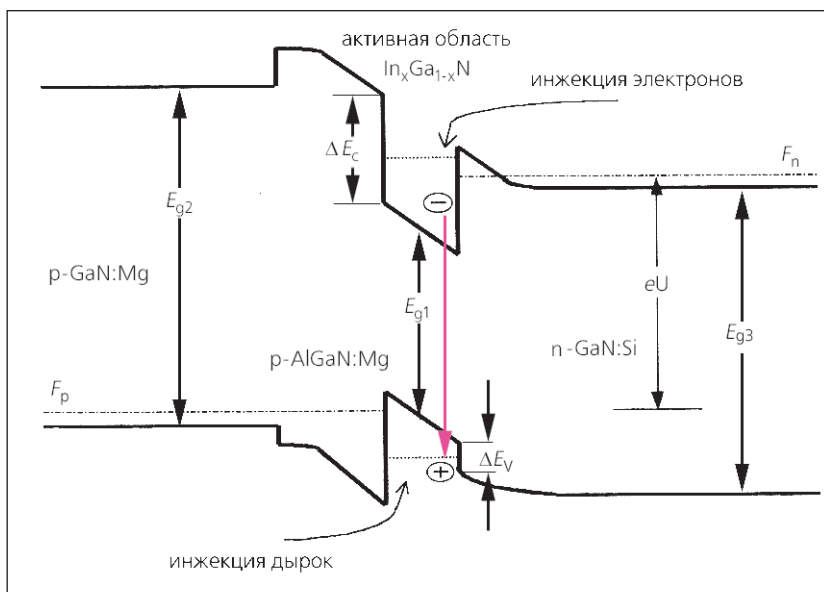


Энергетическая диаграмма обычного (гомогенного) p-n перехода в полупроводнике при прямом смещении U . Черными стрелками показана инжекция электронов и дырок; цветными — рекомбинация электрона и дырки. В отсутствие смещения ($U = 0$) уровень Ферми (штриховые прямые) одинаков во всем переходе $F_p = F_n$, и барьеры для основных носителей выше, чем при прямом включении p-n перехода, когда уровни раздвигаются на величину $eU = F_n - F_p$.

Как устроен и работает светодиод?

Светодиод — это полупроводниковый прибор с двумя контактами, преобразующий энергию электрического тока в световую. Например, если в образце создан p-n переход, т.е.

граница между областями с дырочной (p-) и электронной (n-) проводимостью, то при положительной полярности внешнего источника тока на контакте к p-области (и отрицательной — на контакте к n-области) потенциальный барьер в p-n переходе понижается и электроны из n-области инжекти-



Энергетическая диаграмма *p-n* гетероструктуры типа *InGaN/AlGaN/GaN* при прямом смещении *U*. Черными стрелками показана инжекция электронов и дырок в активную область *p-n* гетероструктуры. Попадая в узкие и достаточно глубокие ямы, электроны и дырки оказываются запертыми в них. Если активный слой (с узкой запрещенной зоной E_{g1}) содержит малое количество дефектов, электронно-дырочные пары рекомбинируют с излучением кванта $\hbar\omega \approx E_{g1}$ (цветная стрелка).

руются в *p*-область, а дырки из *p*-области — в *n*-область.

Инжектированные электроны и дырки рекомбинируют, передавая свою энергию либо квантам света $\hbar\omega$ (излучательная рекомбинация), либо, через дефекты и примеси, — тепловым колебаниям решетки (безызлучательная рекомбинация). Вероятность излучательной рекомбинации пропорциональна концентрации электронно-дырочных пар, поэтому наряду с повышением концентраций основных носителей в *p*- и *n*-областях желательно уменьшать толщину активной области, в которой идет рекомбинация. Но в обычных *p-n* переходах эта толщина не может быть меньше диффузионной длины — среднего расстояния, на которое диффундируют инжектированные носители заряда, пока не рекомбинируют.

Задача ограничения активной области рекомбинации

решена в конце 60-х годов Алфёровым и его сотрудниками. Были предложены и практически изготовлены гетероструктуры, сначала на основе GaAs и его твердых растворов типа AlGaAs, а затем и на основе других полупроводниковых соединений [3, 4]. В гетероструктурах толщина активной области рекомбинации может быть много меньше диффузионной длины.

Рассмотрим энергетическую диаграмму гетероструктуры, в которой между внешними *p*- и *n*-областями полупроводника с большими величинами ширины запрещенной зоны E_{g2} , E_{g3} расположен тонкий слой с меньшей шириной E_{g1} . Толщину этого слоя d можно сделать очень малой, порядка сотен или даже десятков атомных слоев. Помимо потенциального барьера обычного *p-n* перехода на гетерограницах слоя образуются потенциальные барьеры для электронов ΔE_c и ды-

рок ΔE_v . Если приложить к переходу прямое смещение, возникнет инжекция электронов и дырок с обеих сторон в узкозонный слой. Электроны будут стремиться занять положения с наименьшей энергией, спускаясь на дно потенциальной ямы в слое, дырки устремятся вверх — к краю валентной зоны в слое, где минимальны их энергии.

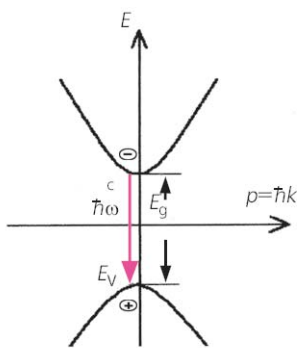
Широкозонные внешние части гетероперехода можно сильно легировать с обеих сторон, добиваясь больших концентраций в них равновесных носителей. И тогда, даже не легируя активную узкозонную область примесями, удастся достичь при инжекции значительных концентраций неравновесных электронно-дырочных пар в слое. Отказ от легирования активной области принципиально важен, поскольку атомы примеси, как уже говорилось, могут служить центрами безызлучательной рекомбинации. Попав в яму, инжектированные электроны наталкиваются на потенциальный барьер ΔE_c , дырки — на барьер ΔE_v , поэтому и те, и другие перестают диффундировать дальше и рекомбинируют в тонком активном слое с испусканием фотонов.

Задачник для конструктора

Подытожим: чтобы достичь максимальной эффективности излучения света, необходимо выполнить следующие условия [6]. При оптических переходах электронов из зоны проводимости полупроводника в валентную должен соблюдаться закон сохранения энергии. Поэтому ширина запрещенной зоны E_g в активной области диода должна быть близка к нужной энергии квантов излучения $\hbar\omega$. Одновременно должен соблюдаться закон сохранения импульса. Точнее — квазиимпульса, так как электрон (и

дырка) в кристалле уже не свободная частица — он движется в поле периодически упорядоченных ионных остовов, представляя собой фактически возбужденное состояние твердого тела. Движение этих возбужденных (электронных и дырочных) очень напоминает свободное распространение заряженных частиц, поэтому их называют квазичастицами. И энергии ϵ отдельных квазичастиц связаны с их квазиимпульсами p так же, как у свободных: $\epsilon = p^2/2m$, только вместо массы электрона $m_0 \approx 10^{-30}$ кг фигурируют эффективные массы m_n , m_p электронов и дырок в данном полупроводнике, которые по величине могут значительно отличаться от массы электрона.

Импульс p_ϕ , уносимый излученным фотоном, пренебрежимо мал по сравнению с квазиимпульсами рекомбинирующих квазичастиц. В самом деле, для фотона $p_\phi = E_\phi/c$, для электрона при рекомбинации $p = \sqrt{2m_n E_g}$; их отношение $p_\phi/p \sim \sqrt{E_g/m_n c^2} \ll 1$. Поэтому при излучательной рекомбинации квазиимпульс электронов не меняется, а это возможно



Зависимость энергии электронов от квазиимпульса для прямозонных полупроводников. Стрелкой показан переход электронов из зоны проводимости в валентную, сопровождающийся излучением кванта $\hbar\omega$.

только у прямозонных полупроводников, у которых максимум валентной зоны и минимум зоны проводимости располагаются в пространстве квазиимпульсов в центре зоны Бриллюэна (области однозначного задания квазиимпульса в кристалле). Кроме того, кристалл полупроводника должен быть по возможности бездефектным, как и границы между разными слоями, поскольку дефекты на них (дислокации, например) тоже порождают безызлучательную рекомбинацию. Поэтому особого внимания требует подбор пар материалов с точки зрения согласования параметров их элементарных ячеек — на границе несогласованных решеток возникнет много дислокаций. Работы группы Алфёрова показали, что в гетероструктурах соединений типа A^mB^v могут быть созданы практически идеальные границы [4, 7].

Насколько успешно удалось решить все эти задачи, можно судить по значениям ряда параметров. О вероятности излучательной рекомбинации в узкозонном слое говорит внутренний квантовый выход излучения η_i (число излучаемых фотонов на одну электронно-дырочную пару). В гетероструктурах величина η_i может быть близка к 100%. Для практики, однако, важнее внешний квантовый выход излучения η_e — отношение числа излучаемых во внешнюю среду квантов света к числу электронно-дырочных пар, пересекающих p - n переход. Он характеризует преобразование электрической энергии в световую и, помимо внутреннего квантового выхода (η_i), учитывает коэффициент инжекции пар в активную область (γ) и коэффициент вывода света во внешнюю среду (η_o):

$$\eta_e = \gamma \eta_i \eta_o.$$

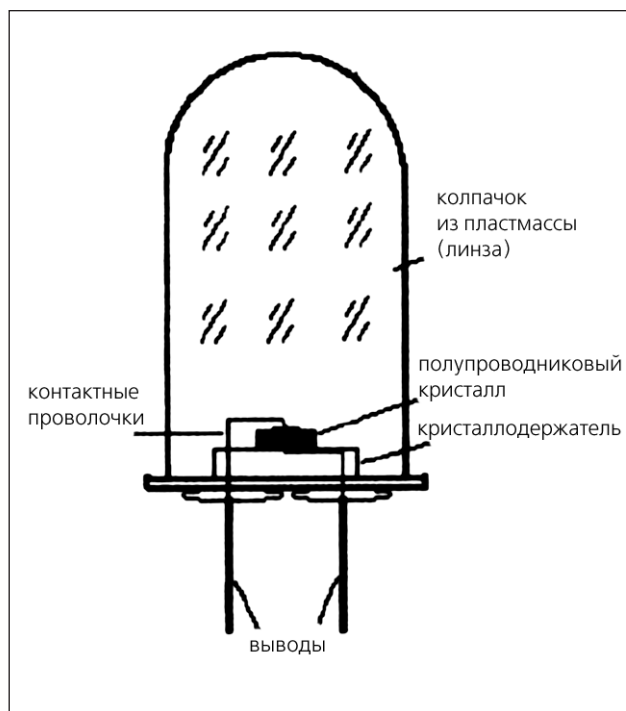
Коэффициент полезного действия светоизлучающего

прибора ограничивается еще и потерями на джоулево тепло, поэтому сопротивление всех областей структуры и омических контактов на выводах должно быть малым. Восприятие же излучения человеком, глаз которого по-разному воспринимает различные участки оптического спектра (в соответствии с кривой видности), выдвигает свои требования к световым и спектральным характеристикам излучателей.

Излучаемые световые кванты должны выходить во внешнюю среду в заданном телесном угле с минимальным их поглощением внутри прибора. Малые размеры полупроводниковых светодиодов отличают их от ламп накаливания, в противоположность лампам диод — почти точечный источник света с площадью кристалла $(0.25 \times 0.25) - (0.5 \times 0.5)$ мм².

Кристалл покрывается выпуклым или плоским пластмассовым колпачком размерами 3—10 мм. Показатель преломления пластмассы выбирается так, чтобы увеличить коэффициент вывода излучения η_o . Конструкция колпачка обеспечивает фокусировку излучения в нужном телесном угле 5—45°. Держатель кристалла отводит тепло от активной области.

Работая, одиночный светодиод потребляет очень небольшую энергию: при напряжении 2—4 В и токе 10—30 мА, электрическая мощность варьирует от 20 до 120 мВт. При КПД в 5—25% в виде света излучается 1—30 мВт (сила света 1—30 кд). Для сравнения — миниатюрная лампа накаливания работает при напряжении около 12 В и токе 50—100 мА. Для получения больших световых потоков десятки и сотни светодиодов объединяют в световые панели. Возможность фокусировки излучения в каждом элементе позволяет создавать световые панели с направленным излучением.



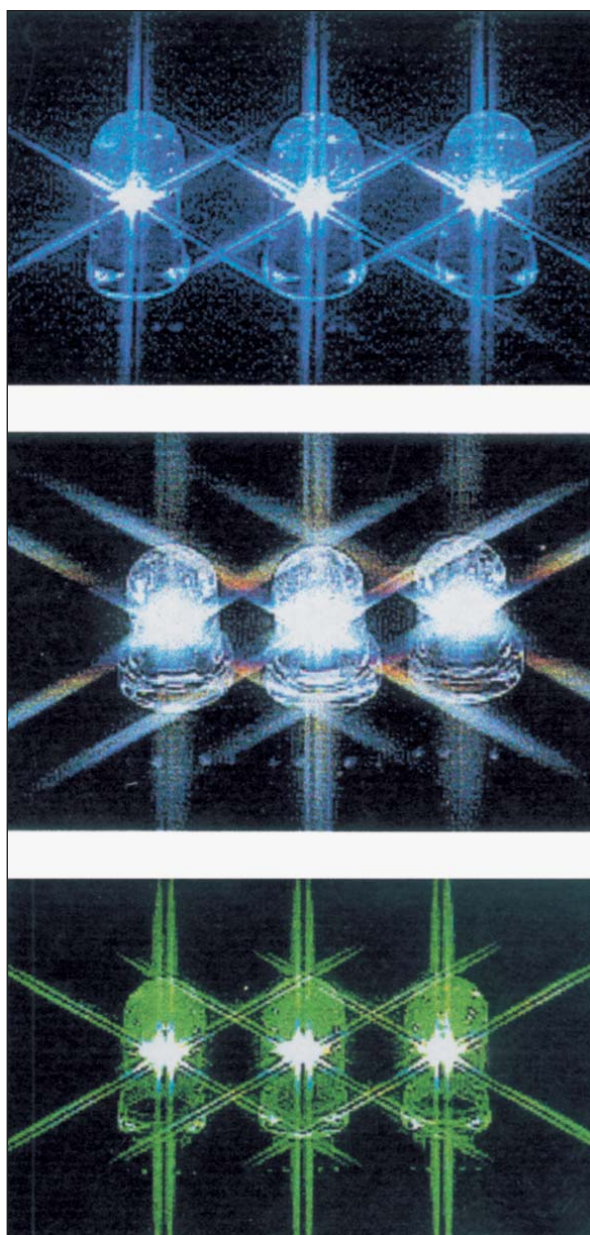
Замена ламп накаливания диодами особенно эффективна в цветной светосигнальной аппаратуре. Лампы должны иметь цветные фильтры, что уменьшает КПД — часть излучения поглощается фильтрами. Цвет оптического излучения полупроводниковых приборов задается энергией квантов в узкой области спектра, фильтры им не нужны. На цветовой диаграмме показано, как из «чистых» цветов, расположенных на внешнем подковообразном контуре, можно получить любой смешанный. Центр диаграммы соответствует белому цвету, на краях отмечены кружки для разных диодов.

В ходе разработок светодиодов за последние десятилетия перечисленные выше сложные условия выполнялись последовательно для разных длин волн, и вот с какими результатами. Красные диоды на основе твердых растворов арсенидов галлия—алюминия $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ достигли внешнего квантового выхода излучения η_e более 15%. Диоды из фосфида галлия GaP , светящиеся желтовато-зеленым цветом, име-

ют $\eta_e \approx 0.1\%$, но близость спектра излучения к максимуму чувствительности глаза ($\lambda = 555 \text{ нм}$) обеспечила им в 70–90-х годах широкое применение. КПД промышленных образцов красных, оранжево-желтых и желто-зеленых светодиодов на основе гетероструктур из твердых растворов $\text{In}_y\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ были доведены к концу 90-х годов до $\eta_e = 25\text{—}55\%$ [5].

Светодиоды в отличие от лазеров — источники спонтанного излучения, их спектральные «линии» имеют заметную ширину: на уровне половины максимальной интенсивности она составляет 20–50 нм, что соответствует средней тепловой энергии электронов.

А вот эффективные светодиоды для зеленовато-голубой, голубой, синей и фиоле-



Конструкция (слева) и внешний вид светодиодов.

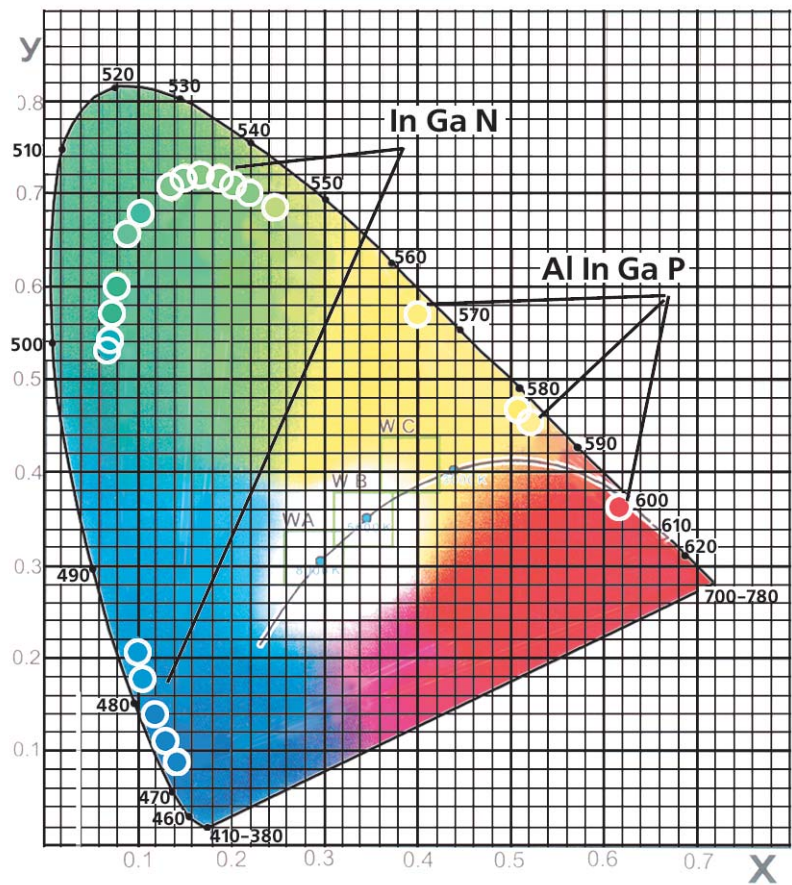
товой частей спектра были созданы только в 90-е годы. Сделать их можно на основе полупроводников с большой шириной запрещенной зоны: карбида кремния SiC, соединений группы A^{IV}B^{VI}, нитридов группы A^{III}B^V. У излучателей на основе ZnSe (A^{II}B^{VI}) большой квантовый выход, но они недолговечны и имеют большое электрическое сопротивление. У карбид-кремниевых излучателей очень мал КПД, так как SiC — непрямозонный полупроводник.

В последние годы был сделан настоящий прорыв в разработках голубых и зеленых светодиодов. В приборах на основе нитрида галлия и его твердых растворов GaN, In_xGa_{1-x}N, Al_xGa_{1-x}N внешний квантовый выход увеличен до η_e = 9–16 % [8–10]. Светоотдача диодных излучателей из разных материалов для всех основных цветов превысила светоотдачу ламп накаливания. Диоды стали приборами и оптоэлектроники, и светотехники.

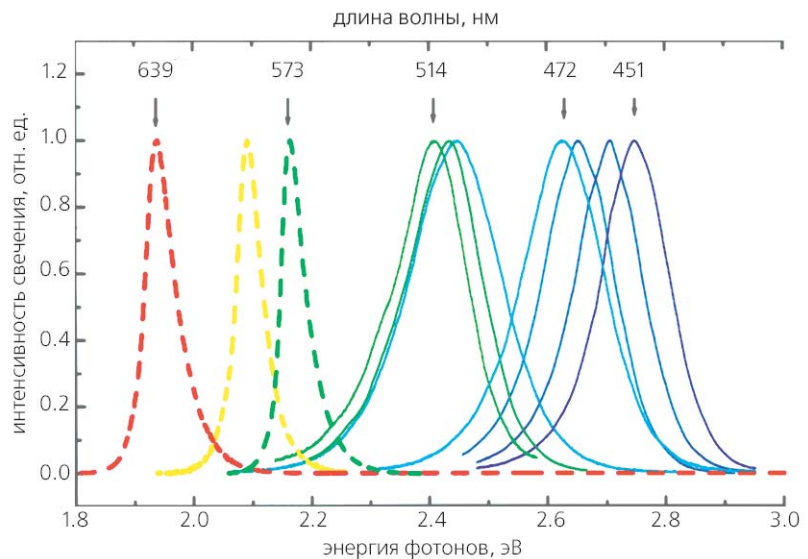
Замечательный нитрид

Нитрид галлия GaN, представитель группы A^{III}B^V, в отличие от кубических кристаллов GaAs, InP, AlAs кристаллизуется в гексагональной решетке типа вюрцита (постоянные решетки $a = 3.18 \text{ \AA}$, $c = 5.18 \text{ \AA}$) и имеет ширину запрещенной зоны $E_g = 3.5 \text{ эВ}$. Выращивание монокристаллов этого полупроводника непростая задача, так как температура плавления GaN ≈ 2000°C, а равновесное давление паров азота должно быть 40 атм.

GaN — прямозонный полупроводник; нелегированные кристаллы GaN имеют большую концентрацию доноров, обуславливающих проводимость n-типа и концентрацию электронов $n = 10^{18} - 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [11].



Цветовой график Международной комиссии по освещению. В центре — область белого цвета, пересекаемая дугой, соответствующей цвету черного тела при разных температурах. Кружками отмечены цветовые координаты разных светодиодов.



Спектры электролюминесценции светодиодов на основе гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN (сплошные линии) и AlInGaP/GaP (штриховые). Видно, что они перекрывают всю область видимого спектра.

Кристаллы аналогичных соединений — нитридов алюминия и индия AlN и InN — также гексагональные с сильно различающимися постоянными решеток ($a = 3.11, 3.54 \text{ \AA}$ и $c = 4.98, 5.70 \text{ \AA}$); это — прямозонные полупроводники с $E_g = 6.5$ и 1.8 эВ соответственно. Бинарные соединения допускают образование тройных твердых растворов $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$. В ряду $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ можно так подобрать параметр x , что энергия E_g будет отвечать фиолетовой, голубой или зеленой области спектра.

Еще в 70-х годах группа Ж. Панкова из лаборатории компании IBM создала фиолетовые и голубые диоды на основе эпитаксиальных пленок GaN. Квантовый выход был достаточен для практики (доли %), но срок их службы был ограничен. В p -области p - n перехода концентрация дырок была мала, и сопротивление диодов оказалось слишком большим, они довольно быстро перегревались и выходили из строя.

В начале 80-х годов Г.В.Сапарин и М.В.Чукичев в Московском государственном университете им.М.В.Ломоносова обнаружили, что после действия электронного пучка образец GaN, легированный Zn, локально становится ярким люминофором. Были предложены устройства оптической памяти с пространственным разрешением 1—10 мкм. Но причину яркого свечения — активацию акцепторов Zn под влиянием пучка электронов — тогда понять не удалось.

Эту причину раскрыли И.Акасаки и Х.Аmano из Нагойского университета [10]. Дело оказалось в том, что примесные атомы Zn при росте кристалла реагировали с неизбежно присутствующими атомами водорода, образовывали нейтральный комплекс Zn^-H^+ и переставали работать акцепторами. Обработка электронным

пучком разрушала связи Zn^-H^+ и возвращала атомам Zn акцепторную роль. Поняв это, японские ученые сделали принципиальный шаг в создании p - n переходов из GaN. Для аналогичного акцептора — Mg — было показано, что обработкой сканирующим электронным пучком можно p -слой GaN с примесью Mg сделать ярко люминесцирующим, имеющим большую концентрацию дырок, которая необходима для эффективной инжекции дырок в p - n переход. Авторы заявили патент на эффективное легирование GaN p -типа.

В 1989 г. Ш.Накамура (компания «Ничия Кемикал») начал исследования пленок нитридов элементов III группы, выращенных методом газовой эпитаксии из металлорганических соединений. Он пошел дальше Акасаки — заменил обработку электронным пучком нагревом в атмосфере N_2 . Водород взаимодействовал с азотом, образуя NH_3 , и не препятствовал атомам Mg работать акцепторами. Подобранными режимами легирования и термообработки были получены эффективно инжектирующие слои p -типа с большой концентрацией дырок в GaN-гетероструктурах [8, 9]. В технологии были учтены особенности легирования примесями Mg и Zn. Были выращены при сравнительно низких температурах структуры GaN/Ga_{1-y}Al_yN, GaN/Ga_{1-x}In_xN, Ga_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}Al_yN с толщиной активных слоев до 10—20 нм и шероховатостью гетерограниц порядка одного атомного слоя [8, 9]. Сначала были созданы светодиоды из двойных гетероструктур Ga_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}Al_yN с активным слоем Ga_{1-x}In_xN:Zn. Максимумы голубого и зеленого света с яркостями 1 и 2 кд приходились на 460 и 520 нм, а внешний квантовый выход составил 3 и 2%.

Светят квантовые ямы

На следующем этапе разработок перешли к многослойным гетероструктурам GaN/Ga_{1-x}In_xN с нелегированным активным слоем Ga_{1-x}In_xN толщиной до 2—3 нм. Физические принципы, ранее использованные при создании приборов на основе GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs и GaAs/In_xAl_yGa_{1-x-y}P, послужили применительно к новым структурам [8—10].

В сверхтонких слоях сказываются эффекты размерного квантования — зависимости энергетического спектра электронов и дырок от толщины слоя, когда последняя сравнима с длиной волны де Бройля. Таким образом, открылась возможность регулировать цвет свечения, изменяя не состав полупроводника, а толщину потенциальной ямы, называемой в этих условиях квантовой.

Было очень важно также разработать технологию выращивания новых структур, обеспечивая на границах минимальное число дефектов. Помогло то, что в сверхтонких слоях несоответствие параметров решетки в определенных случаях вызывает на гетерограницах лишь упругую деформацию растяжения или сжатия. А чисто упругая деформация не сопровождается образованием дислокаций и дефектов — центром безызлучательной рекомбинации.

Структура светодиода с множественными квантовыми ямами представляет собой довольно сложный «пирог». На сапфировой подложке, после буферного слоя AlN (толщиной 30 нм), выращен относительно толстый (4 мкм) слой n -GaN:Si. Затем идет активный нелегированный слой, состоящий из пяти чередующихся квантовых ям In_xGa_{1-x}N (3—4 нм) и барьеров GaN (4—5 нм). Эффективная ширина запрещенной зоны квантовых ям In_xGa_{1-x}N соответствует излу-

чению от голубой до желтой области (450–580 нм), если состав активного слоя меняется в пределах $x = 0.2-0.4$; она зависит и от толщины d . Расположенный выше барьерный широкозонный слой p - $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}:\text{Mg}$ (100 нм) инжектирует дырки и согласует решетку с решеткой верхнего слоя p - $\text{GaN}:\text{Mg}$ (0.5 мкм), на который нанесен металлический контакт Ni—Au. Второй металлический контакт (Ti—Al) с нижним слоем n - GaN создается после травли части структуры.

Свет в доме и на улице

В 1999 г. компании «Ничия Кемикал», «Тойода Госей», «Хьюлетт—Паккард», «Крии» выпускали по несколько десятков миллионов голубых и зеленых светодиодов в месяц. В июле 1999 г. Накамура сообщил, что светоотдача этих приборов достигает 60 лм/Вт, а мощность желтых на основе InGaN — 6 мВт [8]. Если голубой диод покрыть желтым люминофором, в котором свет возбуждается голубым излучением, то сложение цветов дает белое свечение, как это видно из цветовой диаграммы на стр.43. Белые светодиоды выпускают «Ничия» и «Осрам»; пока их светоотдача меньше, чем ламп накаливания, но в проектах разработок на ближайшие годы стоит цель вывести белые полупроводниковые источники света вперед.

Примеры массового применения светодиодов можно найти уже повсюду. На перекрестках Москвы к 850-летию города было установлено 1000 светодиодных светофоров; для зеленого света применены элементы на основе нитридов. Сделаны первые светодиодные железнодорожные светофоры с узкой направленностью излучения. На одном из небоскребов Нью-

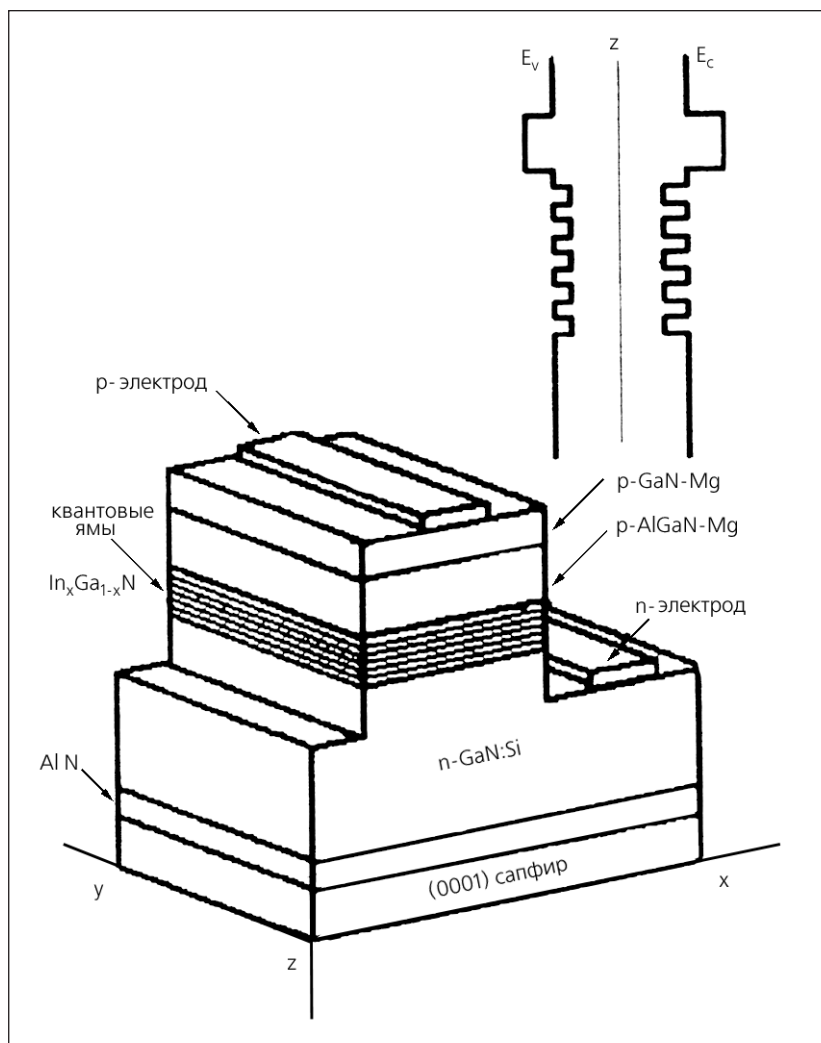


Схема светодиода на основе гетероструктур типа $\text{InGaN}/\text{AlGaN}/\text{GaN}$ с множественными квантовыми ямами.

Йорка, на Таймс-Сквер, установлен полноцветный светодиодный экран площадью несколько квадратных метров, смонтированный из 16 млн элементов; в Москве первый экран (меньших размеров) начал работать на Манежной площади. Проектируются телевизоры с экранами более 70 см по диагонали, в которых каждая из 100 тыс. светящихся точек, формирующих изображение, сделана из светодиодов трех цветов — синего, зеленого и красного.

Компания «Осрам—Оптомикондакторс», специально

организованная двумя промышленными гигантами «Осрам» и «Сименс» для производства светодиодов, продемонстрировала служебное помещение с плафоном на потолке из 14 тыс. голубых, зеленых, желтых, красных и белых светодиодов. Режим работы устанавливается процессором, поэтому простым выбором тока легко задать освещение того или иного типа от теплого, близкого к свету ламп накаливания, до холодного, как у люминесцентных ламп. Излучение светодиодов в плафоне сфокусировано так, что свет идет



Светодиодный осветительный плафон в комнате офиса (Compound Semiconductors. 2000. V.6. №5. P.18).



Мост в Дуйсбурге, освещенный колоннами светодиодных светильников (Compound Semiconductors. 2000. V.6. №2. P.40).

вниз, не рассеиваясь к стенам. Светодиоды найдут применение и в декоративном освещении архитектурных деталей, как это уже осуществлено в Дуйсбурге (Германия), при освещении моста полупроводниковыми светильниками, смонтированными в столбах ограды.

Производство светодиодов на основе нитридов за последние пять лет опередило все самые оптимистичные прогнозы на 20–30%. Прибыли производящих компаний в 1999 г. составили 420 млн амер. долл. и планируются на отметке 4.5 млрд в 2009 г.

Разработка полупроводниковых излучателей еще

раз показала, что наука о полупроводниках далеко не исчерпана. Нобелевская премия Ж.И.Алфёрову и Г.Крёмеру — это признание важности исследований гетеропереходов для настоящего и будущего, исследований, которые порождают технику, кардинально улучшающую нашу жизнь. ■

Литература

1. Лосев О.В. У истоков полупроводниковой техники: Избранные труды. Л., 1972.
2. Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. М., 1983.
3. Алфёров Ж.И. Физика и Жизнь. СПб., 2000.
4. Конаев Ю.В. Лауреаты Нобелевской премии 2000 г. по физике — Ж.И.Алфёров, Г.Крёмер, Дж.Килби // Природа. 2001. №1. С.3–7.
5. Craford M.G. // MRS Bull. 2000. V.25. №10. P.27–31.
6. Берг А., Дин П. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э.Юновича. М., 1979.
7. Алфёров Ж.И. // Физика и техника полупроводников. 1998. Т.32. №1. С.3–18.
8. Nakamura S., Fasol G. The blue Laser Diode; GaN based Light Emitters and Lasers. Heidelberg, 1997.
9. Nakamura S. et al. // Jap. J. Appl. Phys. Part II. 1999. V.38. №7a. P.3976.
10. Amano H., Kito M., Hiramatsu K., Akasaki I. // Jap. J. Appl. Phys. 1989. V.28. PL2112–2114.
11. Group III Nitride Semiconductor Compounds: Physics and Applications / Ed. B.Gil. Oxford, 1998.

Современный и прошлый ареалы снежного барана

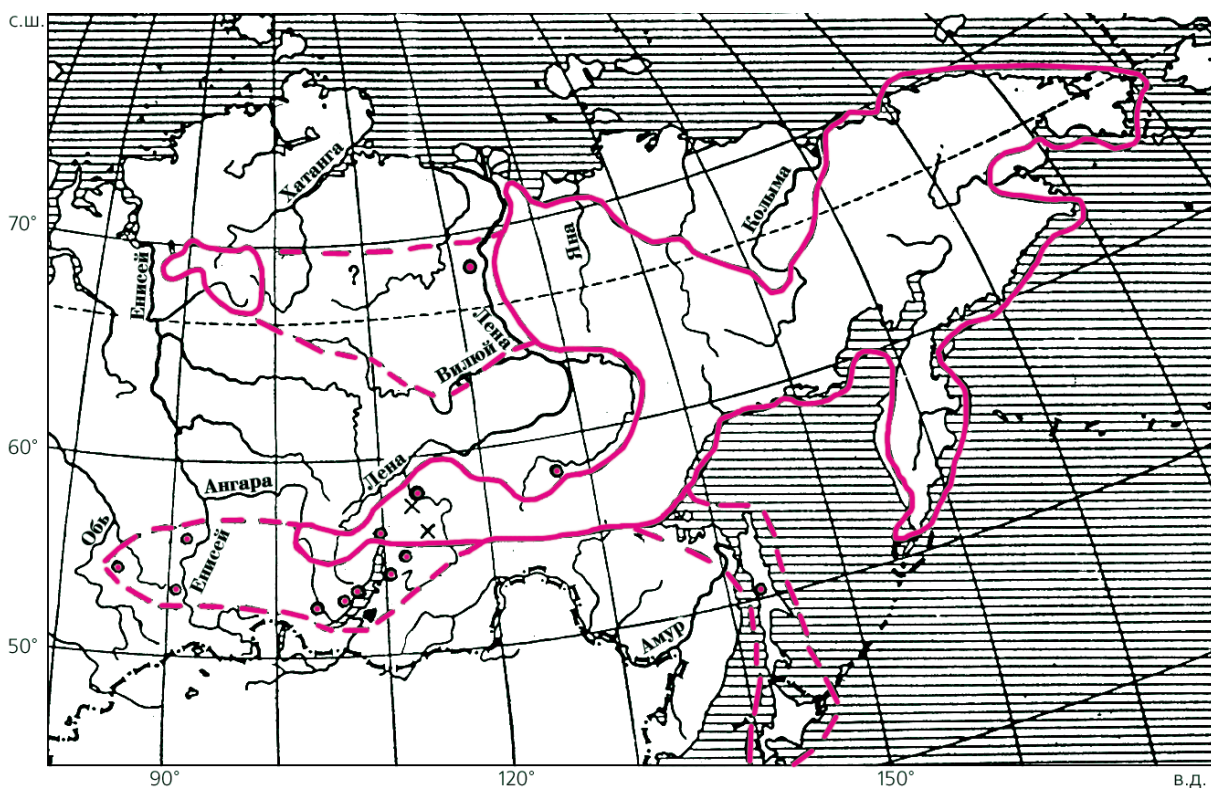
В.Н.Калякин,
кандидат биологических наук
Географический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова

Снежный баран (*Ovis nivicola*), принадлежащий к роду горных баранов, сейчас распространен от Пурторана (плато южнее Таймыра) до гор Северной Америки и от побережья Северного Ледовитого океана до Станового хребта. На территории России обитает пять подвидов снежного барана, два из них — пурторанский (*O. n. borealis*) и чукотский (*O. n. koriakorum*) — включены в национальную Красную книгу. Первый отнесен к категории III как редкий малочисленный подвид с узким изолированным ареалом, второй — к категории II, поскольку численность этого редкого подвида сокращается, равно как и его ареал. Как писал Л.С.Рудков, поголовье снежного барана (его называют также чубуком и толсторогом) в РСФСР с 1929 по 1979 г. снизилось более чем в 12 раз [1]. Если сравнить его нынешний ареал с тем, каким он был в прежние времена, значительное сокращение станет очевидным.

Произошло ли это в XX в. из-за интенсивного освоения человеком многих мест обитания барана и браконьерства или неблагоприятные изменения начались много раньше?



Турнирный бой. Этот канадский снежный баран обитает в Скалистых горах. Иллюстрация из книги A.Forsyth «Mammals of the Canadian Wilds». Scarborough; Ontario, 1985.



Ареал снежного барана в России. Область распространения вида в историческое время, установленная В.Г.Гептнером, ограничена цветной линией, вероятное местообитание между Леной и Хатангой отмечено знаком вопроса, крестиками — самые западные районы современного ареала. Цветными кружками показаны места находок ископаемых остатков чубука из отложений позднего плейстоцена, треугольником — среднего плейстоцена (Н.Д.Оводов, 1999).

Знать ареал специально охраняемого вида необходимо для чисто практических работ по восстановлению численности, так как он служит чрезвычайно важным ориентиром для подыскания мест реинтродукции.

Где же был распространен снежный баран в историческое время?

Судя по данным В.Г.Гептнера, в XVIII в. баран встречался по всей Камчатке [2], кроме равнинного западного побережья, а С.П.Крашенинников указывает еще и на о. Атласова [3]. Если внимательно прочесть его сочинение, можно заметить, что снежный баран обитал также на ближайших

к Камчатке островам Курильской гряды — Шумшу и Парамушире. В самом деле, как бы он заселил о. Атласова, минуя эти два острова?

Но только этим сведения Крашенинникова не ограничиваются. Говоря о Кунашире — самом южном из островов Курильской гряды — и о его жителях, автор пишет: «Постели у них мусимоновы кожи, которых там довольно ж» (мусимонами, или каменными баранами, жители Камчатки называли тогда снежных баранов).

Все упомянутые острова находятся на материковом шельфе. Северная часть его, к которой относятся Шумшу

и Парамушир, осушалась во время вюрмской регрессии Мирового океана, достигшей максимума 22 — 17 тыс. лет назад. Поэтому наземные животные, в том числе и снежный баран, могли с материка проникнуть на территории, которые сейчас представляют собой острова, т.е. на Шумшу и Парамушир.

Но как же этот вид и другие наземные животные оказались на Кунашире? Ведь он отделен от северных островов более глубокими проливами, которые не подвергались осушению во время регрессии. Единственно возможный путь — через Сахалин и Хоккайдо. И тот и другой причленились к мате-



Остатки древних каменных барьеров для ловли горных баранов. Западный чинк Устюрта.

Фото В.А.Горбатова

рику, как и южнее расположенные острова Японии. Это подтверждают палеонтологические и современные данные зоогеографии, например общность фауны пресноводных рыб Японии и рек Амура и Хуанхэ. В Японии, в том числе на Хоккайдо, свидетельств былого обитания снежных баранов пока не обнаружено. Однако в центральной части Сахалина, в пещере Останцовая, остатки животного найдены — в отложениях позднечетвертичного времени.

В Азии за последние 60 лет кости барана обнаружены в 15 местонахождениях, 11 из которых явно выходят за пределы его современного распространения. Главными причинами исчезновения его южных популяций Н.Д.Оводов считает конкуренцию с архарами и истребление хищниками — красным и серым волками, пещерной гиеной, снежным барсом, росомахой и пещерным львом [4]. Но с подоб-

ным объяснением не все согласуется. Например, в «Житии протопопа Аввакума» можно найти указания на то, что снежный баран был распространен в XVII в. вдоль Ангары. Вероятно, он обитал также по Байкальскому хребту и на о. Ольхон, у западного побережья Байкала. Примечательно, что в XVIII в. вдоль этого же побережья вплоть до верховьев Лены встречался снежный барс, или ирбис (*Panthera uncia*) — высокоспециализированный горный хищник, который не мог бы здесь существовать, не будь в горах его жертвы — снежного барана. Это хотя и свидетельство его обитания, все же косвенное, но есть и непосредственные следы пребывания: на небольшом краже в северной части Ольхона до сих пор сохранились пробитые баранами тропы. Я полагаю, нет особых оснований считать, что ареал снежного барана сократился из-за истребле-

ния четвероногими хищниками, да этому противостоит сама система хищник—жертва. В абсолютно подавляющем большинстве случаев она поддерживается прямыми и обратными связями входящих в нее компонентов. Ясно, что полное истребление жертв хищником повлечет за собой и его гибель.

Основная причина исчезновения снежного барана, главным образом в южной части ареала, — уничтожение человеком, особенно усилившееся после освоения Сибири русскими и проникновения сюда огнестрельного оружия. Это было время интенсивного пушного (а попутно и «мясного») промысла. По образному выражению Л.С.Берга, именно в погоне за соболем (в первую очередь) русские всего лишь за полстолетия проникают от Камня (Уральского хребта) до Тихого океана: в 1598 г. закладывается Обдорск (нынешний Салехард), в 1601-м — Манга-

зея, в 1625-м — Якутский острог (Якутск), а уже в 1648-м Семен Дежнев со товарищи проходят Беринговым проливом и закладывают острог в устье Анадыря. Чудом сохранившиеся кое-где ясачные книги наглядно свидетельствуют о чрезвычайной интенсивности промысла соболя в те времена. Но ведь попутно добывали и крупных зверей на прокорм себе и собакам, а шкуры использовали на постели и меховую одежду.

Вряд ли четвероногие хищники стали причиной исчезновения снежного барана в южных районах его ареала. Ведь именно в конце плейстоцена, когда распространение вида достигло максимума, было больше и хищников. Несравнимо многочисленнее были и пернатые хищники, такие как орлан-белохвост и беркут, обитающие, кстати, по всему ареалу толсторога. Безусловно они опасны для маленьких ягнят, а беркут — и для довольно крупных особей, включая взрослых. Сейчас и орлан, и беркут стали более редкими в дикой природе, а из восьми видов обитавших в конце плейстоцена хищных зверей сохранилось лишь четыре — бурый медведь, рысь,

росомаха и серый волк. Но, несмотря на это, ареал чубука намного сократился.

В вюрме не только осушался материковый шельф. В местностях с рыхлыми отложениями за счет мощных эрозионных процессов образовывались глубоко врезанные (90—130 м) долины, и рельеф приобрел элементы горного. Благодаря этому горные животные, в частности бараны, могли заселять территории, которые ныне представляют собой равнины. Именно тогда сформировался максимальный по площади ареал снежного барана, а другие представители рода расселились по югу Европы (включая ряд островов Средиземного моря, Кавказ, Крым, низовья Дона), в Казахстане и Средней Азии, некоторых районах Монголии, Северо-Восточного Китая и Кореи. Следы бывшего присутствия некоторых реликтовых популяций рода горных баранов можно обнаружить и сейчас. Например, в ущелье-овраге Кызыл-Джар на юге Туркмении, которое тянется почти на 20 км и «прорезает» равнину, а также по чинкам Устюрта на юго-западе Казахстана сохранились сложенные из камней еще в древние времена огады

длиной во много десятков километров, перемежающиеся ловчими ямами, которые использовались для массовых загонов горных баранов.

Нет сомнений, что зная точный ареал охраняемых видов, можно использовать его как наиболее ценный ориентир при планировании практических работ по восстановлению численности и расселению животных. Ольхон, еще в XIX в. бывший фактически безлюдным, мог бы стать одним из подходящих районов не только для реинтродукции снежного барана на горный кряж северной оконечности, но и для проведения работ по восстановлению численности лошади Пржевальского на большей — степной — части территории острова. Другой потенциально возможный резерват для толсторога — о. Кунашир (а возможно, и другие острова Курильской гряды), тем более что с 1984 г. там существует Курильский заповедник. Так что выяснение исторических мест обитания животных, ставших ныне редкими и нуждающихся в охране и восстановлении численности, весьма полезно, ибо поможет нам найти для них подходящие пристанища. ■

Литература

1. Рудков А.С. Условия обитания и биология снежного барана // Природа. 1979. №12. С.82—85.
2. Млекопитающие Советского Союза / Под ред. В.Г.Гептнера и Н.П.Наумова. М., 1961. Т.1. С.655—673.
3. Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. СПб., 1995. Т.1. С.109—119.
4. Оводов Н.Д. К истории снежного барана (*Ovis canadensis*) // Тез. VI съезда Териологического об-ва. М., 1999. С.180.

Межвидовая гибридизация у птиц: эволюция в действии

Е.Н.Панов

«**В**се, чего мы достигаем искусством, может осуществляться тысячи и тысячи раз природой, и таким образом часто получаются случайные и добровольные смешения между животными, и особенно — между птицами... Кто может сосчитать незаконные утечи между особями разных видов! Кто сумеет когда-нибудь отделить бастардные ответвления от законных стволов, определить время их первого возникновения, установить, одним словом, все следствия могущества Природы <...> которое она знает, как применить для увеличения числа видов и заполнения перерывов, их разделяющих». Так писал великий французский натуралист Ж.Бюффон в «Естественной истории птиц» (1770). Слова Бюффона можно рассматривать в качестве одной из первых формулировок тех положений, которые лишь совсем недавно, во второй половине XX в., оформились в так называемую концепцию ретикулярной, или сетчатой, эволюции. Эта концепция противоречит теории традиционной дарвиновской дивергентной эволюции. С точки зрения Дарвина ветви эволюционно-



Евгений Николаевич Панов, доктор биологических наук, заведующий лабораторией сравнительной этологии и биокommunikации Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова. Область научных интересов — поведение животных, эволюция, видообразование и систематика птиц. Лауреат Государственной премии РФ (1993).

го древа с течением времени все более удаляются друг от друга, что означает необратимость расхождения (дивергенции) видов, произошедших некогда от общего предка. Сторонники ретикулярной теории, напротив, допускают вторичное «срастание молодых, концевых побегов» древа эволюции в результате гибридизации и формирование гибридогенных общностей (популяций, видов) с новыми свойствами и с неожиданными вариациями развития.

К сожалению, и в наши дни многие специалисты скептически относятся к концепции сетчатой эволюции. Считается, что естественная межвидовая гибридизация — явление крайне редкое, скорее некий каприз природы, нежели закономерность. Происходит она лишь при определенных обстоятельствах, например при становлении контакта между близкородственными видами, жизненное пространство которых было до этого четко разграничено теми или ины-

© Е.Н.Панов



Самцы обыкновенной (слева) и белошапочной овсянок.

Здесь и далее фото автора

ми естественными преградами.

Первые этапы такого контакта зафиксировать, как правило, не удастся: в большинстве случаев, основываясь на косвенных данных, мы можем сформулировать более или менее правдоподобные предположения о том, когда именно такое событие могло произойти. Впрочем, чтобы попытаться понять причины того или иного процесса в эволюции, необходимо быть свидетелем события, произошедшего сотни или даже тысячи лет назад. Достаточно лишь детально исследовать его результаты.

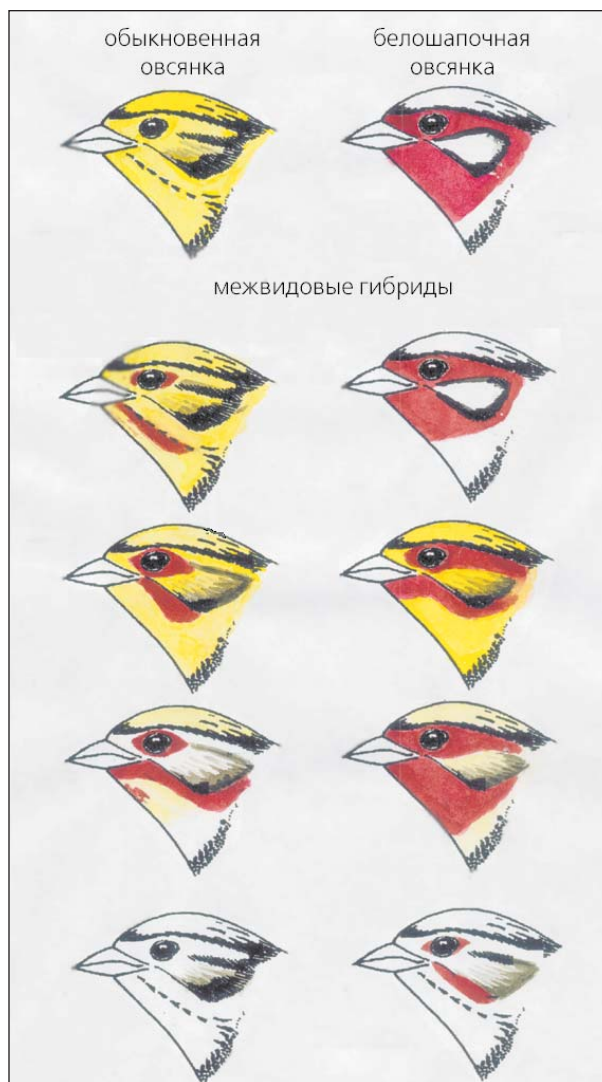
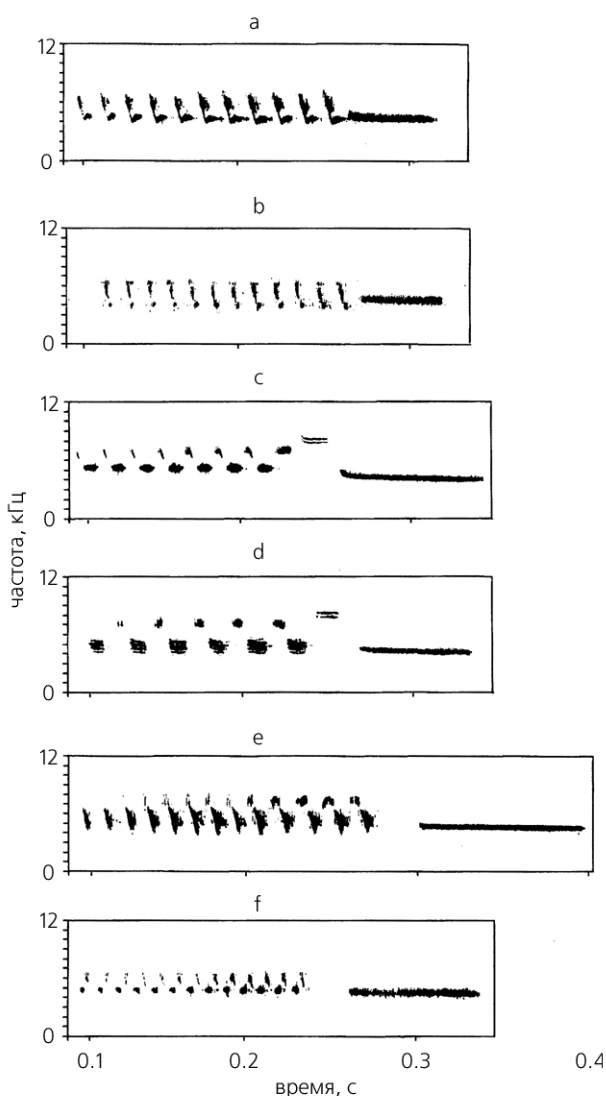
Именно этим мы* и занялись: изучили образ жизни двух видов овсянок — обыкновенной (*Emberiza citrinella*) и белошапочной (*E. leucocapilla*) — в районах их исконного, независимого существования, а также взаимоотношения этих видов в разных точках зоны их вторичного контакта.

Интересующие нас овсянки — певчие птицы размером чуть крупнее воробья. Самцов (как, впрочем, и самок) обыкновенной и белошапочной овсянок легко узнать по окраске оперения. У самца обыкновенной овсянки голова, грудь и брюшко — желтые с коричневыми полосками, вся спина и пятна по бокам груди — коричневые; самка — в основном желтовато-бурая. У белошапочного самца верх головы, «ошейник», пятно под глазом и брюшко — белые, верх, горло, грудь и бока головы — коричневые; самка окрашена более тускло, но светлая шапочка все же видна. Песни самцов этих двух видов, хотя и похожи по звучанию, но, как выяснилось сравнительно недавно, различаются по ритмической организации.

Казалось бы, различия между обыкновенной овсянкой и белошапочной должны *a priori* служить мощным барьером, препятствующим гибридизации. Дело в том, что, согласно общепринятому мнению, в период размножения

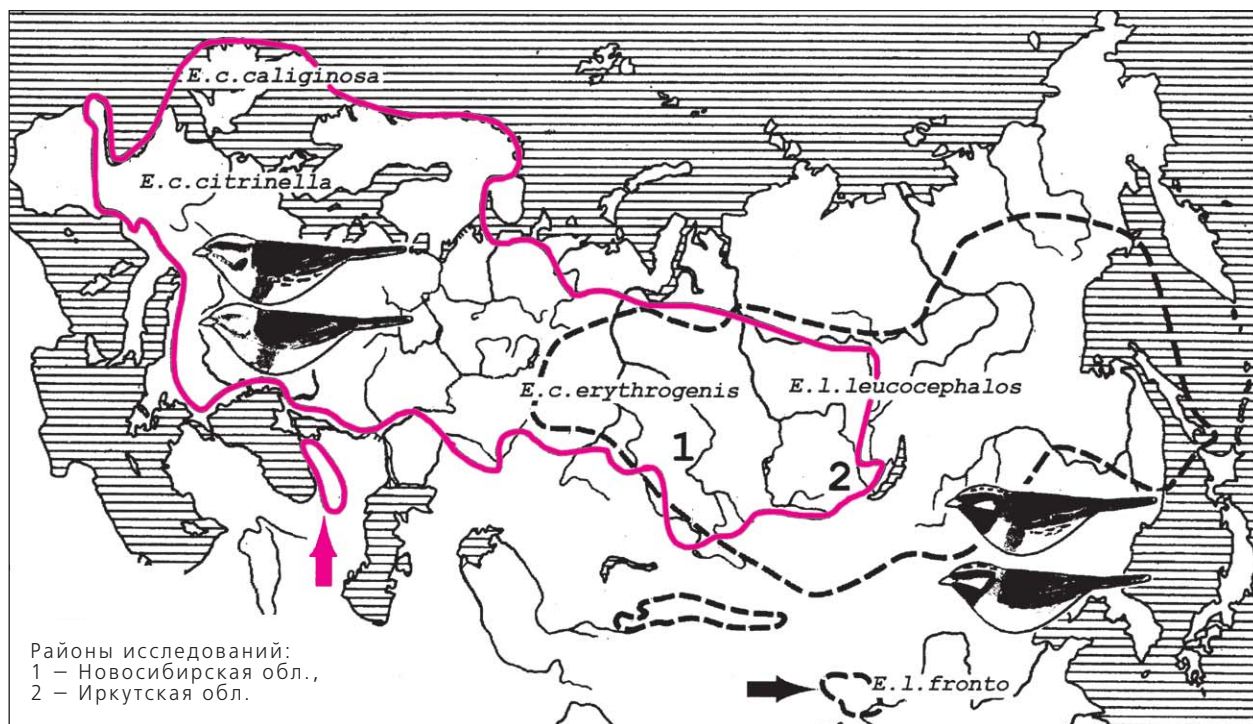
самки птиц выбирают половых партнеров, руководствуясь так называемыми видовыми опознавательными признаками самцов, а именно их окраской и манерой поведения, в частности особенностями звучания присущей данному виду рекламной песни. Все эти опознавательные признаки создают основу системы запретов на скрещивание между особями разных видов, которая получила название этологической (поведенческой) изоляции. Такую трактовку происходящего трудно оспаривать, поскольку она, несомненно, верна в принципе. Однако существует немало исключений из этого общего правила, о чем свидетельствуют многочисленные случаи свободной межвидовой гибридизации. Яркий тому пример — овсянки. Об этом свидетельствуют как прямые наблюдения за успешным размножением смешанных пар (самец одного вида, самка — другого), так и простые подсчеты гибридных особей, в окраске которых присутствуют признаки

*Помимо автора в работе участвовали Д.Г.Монзиков и А.С.Рубцов.



Сонограммы песен самцов обыкновенной овсянки из европейской части России (a, b), белошапочной овсянки из Восточной Сибири (c, d) и двух самцов из центра гибридной зоны — Западной Сибири, Новосибирской обл. (e, f). В типичной песне обыкновенной овсянки первая ее часть содержит много «слов» (до 13–14), следующих друг за другом с короткими интервалами. Пауза между первой частью песни и протяжной заключительной нотой очень коротка. Для песни белошапочной овсянки характерно малое число коротких посылок, следующих друг за другом в не столь быстром темпе. Пауза между этой ритмической конструкцией и заключительной нотой велика. В песнях самцов из гибридной популяции первая часть песни — как у обыкновенной овсянки, заключительная — как у белошапочной.

Окраска оперения головы самца обыкновенной овсянки, белошапочной овсянки и межвидовых гибридов. Птицы всех изображенных вариантов окраски обычны в Западной Сибири. Из числа всех этих вариантов далее к востоку, в Иркутской обл., встречаются почти исключительно те варианты, где присутствует интенсивный желтый цвет. Самцы с преобладающей белой окраской (нижний ряд) довольно обычны в Новосибирской обл. (около 17% популяции), но крайне редки в Иркутской. Среди 160 экз. орнитологической коллекции Иркутского университета обнаружен лишь один самец с такой окраской (в нижнем ряду справа).



Области гнездования обыкновенной (выделено цветом) и белошапочной овсянок. В зоне перекрывания их ареалов обитают обыкновенные овсянки подвида *E. citrinella erythrogenis*. Европейское происхождение обыкновенной овсянки и центральноазиатское — белошапочной подтверждаются существованием реликтовых ареалов этих видов на Кавказе и в Китае (цветная и черная стрелки).

обоих видов (от 3—5 до 54%).

Изначально обыкновенная и белошапочная овсянки были связаны с разными природными комплексами. Обыкновенная — населяла опушечные леса речных долин Европейского континента (до сих пор она встречается в подобных биотопах в Подмосковье). Затем при расселении на восток она постепенно освоила обширные открытые пространства Зауралья и Южной Сибири, вплоть до бассейна Лены. Родиной белошапочной овсянки предположительно считаются лесостепи северо-востока Центральной Азии, откуда этот вид некогда стал распространяться на север и запад, т.е. навстречу овсянке обыкновенной. Видимо, этот процесс начался два-три тысячелетия назад, когда человек приступил к освоению таежных тер-

риторий Сибири и предоставил белошапочной овсянке — любителю открытых пространств — новые места для гнездования. «Человек, — писал известный зоогеограф Н.Ф. Реймерс, — дал возможность белошапочной овсянке, типичному лесостепному виду, проникнуть далеко в глубь таежной полосы». В результате встречного расселения оба вида оказались вполне обычными обитателями лесостепных и антропогенных ландшафтов Западной Сибири и прилегающих территорий.

Впервые я вплотную заинтересовался вопросом о взаимоотношениях обыкновенной и белошапочной овсянок в конце 60-х годов. Оба вида были в те годы вполне обычными по опушкам островков березового леса (именуемых в лесостепной зоне Западной Сиби-

ри колками) в окрестностях новосибирского Академгородка, где я в то время жил и работал. В 1967 г., во второй половине апреля, когда самки строили гнезда и откладывали яйца, на экспериментальном участке площадью около 2,5 км² я насчитал 22 поющих самца белошапочной овсянки и восемь — овсянки обыкновенной. В тот год к гнездованию приступили по крайней мере семь пар белошапочной овсянки и две — обыкновенной. Кроме того, здесь же обосновались еще две смешанные пары и самец — «белый» гибрид, который, видимо, так и остался холостяком. На следующий год я встретил на той же площадке выводок, отцом которого был типичный самец обыкновенной овсянки, а самка, хотя и была похожа на белошапочную, при внимательном

осмотре оказалась гибридом. Эта семья воспитала трех замечательных детенышей. Из всех пяти яиц другой смешанной пары, в которой самец был белошапочной овсянкой, а самка — обыкновенной, вылупились также вполне жизнеспособные птенцы. Выяснилось, что гибридизация у овсянок, хотя и носит ограниченный характер, не является тем не менее событием исключительно редким, так как процессы размножения в смешанных парах протекали без каких-либо очевидных нарушений.

Настойчиво напрашивалось предположение, что поток генов, связывающий местные популяции сосуществующих видов в единую систему, подобную сообщающимся сосудам, должен с течением времени становиться все более и более интенсивным. А если так, то конечным результатом процесса может оказаться тотальное «перемешивание» генофондов — ситуация, которая на языке исследователей микроэволюции именуется «локальным слиянием видов».

Серьезное подтверждение справедливости подобного хода умозаключений было получено в мое следующее посещение Академгородка в 1997 г., спустя ровно 30 лет после первых попыток разобраться в тонкостях межвидовых взаимоотношений овсянок. Поначалу я был несколько обескуражен, когда попытался получить какие-либо сведения об этих птицах у местных орнитологов. Они убеждали меня, что в окрестностях Академгородка обитает лишь обыкновенная овсянка, а белошапочной уже много лет никто не видел. Как выяснилось позже, они были в чем-то правы, но в то же время весьма далеки от истины.

Зная, насколько многочисленной была здесь белошапочная овсянка в 60-х годах, удивительно было обнаружить

полное подтверждение слов новосибирских коллег. Однако не менее поразительными оказались изменения, произошедшие за минувшие годы с популяцией овсянки обыкновенной. Собственно говоря, теперь этих птиц можно было отнести к упомянутому виду лишь с большими оговорками. Дело в том, что из 22 самцов, отловленных нашим маленьким экспедиционным отрядом в паутинные сети все на том же экспериментальном участке, только две трети особей (66.6%) попадали в категорию более или менее типичных обыкновенных овсянок. Среди прочих экземпляров некоторые выглядели, как обыкновенные овсянки, но со значительной примесью окрасочных признаков другого вида (5.6%), другие имели бесспорно промежуточную окраску (11.2%), а третьи вообще резко отличались от типичных самцов обоих видов (16.6%). При взгляде на этих последних невольно приходили на память слова известного немецкого натуралиста О.Хейнрота, который в шутку говорил, что гибриды у птиц нередко демонстрируют не сумму признаков родительских видов, а их разность.

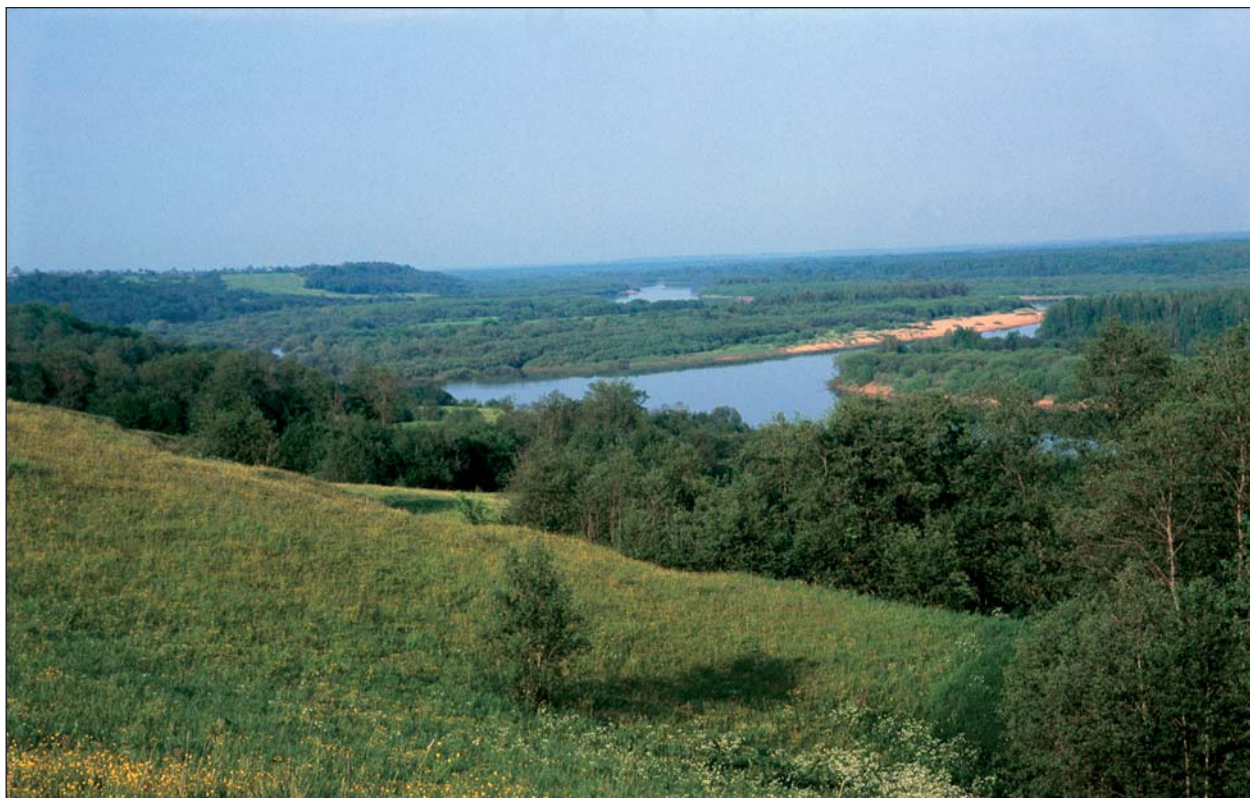
Каждый, кто хоть немного знаком с популяционной генетикой, знает, что если в популяции треть всех особей — гибридного происхождения, то велика вероятность, что большинство особей, которые выглядят, как типичные, «чистые» представители сосуществующих видов, — тоже гибриды разных поколений. Поэтому почти не оставалось сомнений, что обитающая в окрестностях Новосибирска популяция «обыкновенной овсянки» превратилась в некую синтетическую общность, в генетической конституции которой смешались наследственные признаки двух первоначально самостоятельных видов. Дополнительным подтверждением

ему тому стали результаты изучения особенностей песен большинства самцов данной популяции. Эти напевы характеризовались всей гаммой переходов между типичными песнями обыкновенной овсянки из Европы и белошапочной — из Восточной Сибири.

После всего, что удалось узнать во время поездки в Новосибирск, необходимо было выяснить, насколько далеко к востоку простирается зона, населенная синтетической, гибридогенной популяцией овсянок. Особенно важно было понять, что происходит в тех районах, где птицы с обилием обыкновенной овсянки появились сравнительно недавно. По литературным данным, одно из таких мест находится в Прибайкалье. Эти сведения подтвердились, когда я, приехав в Иркутск в начале лета 1998 г., проанализировал архивы местного университета, где всегда работали очень опытные орнитологи.

Оказалось, что еще в 30-х годах XX в. желтая овсянка типа обыкновенной, местную популяцию которой систематики рассматривают в качестве географической расы обыкновенной овсянки — *E.citrinella erytrogenis*, в окрестностях Иркутска была редкостью. С тех времен в коллекциях сохранились буквально единичные экземпляры. По-настоящему обычными такие птицы стали здесь лишь к концу 50-х годов, и в дальнейшем их численность начала быстро нарастать.

После первых же экскурсий в природу выяснилось, что теперь желтая овсянка — самый обычный представитель фауны речных долин и опушек безразных в Прибайкалье. Надо сказать, что эти биотопы — антропогенного происхождения, возникшие на месте некогда произраставших в данном регионе сосновых и лиственных лесов. Сегодня подобные хвойные леса сохра-



Пойма р.Унжи — типичное местообитание обыкновенной овсянки.



Вторичный смешанный лес — место совместного обитания обыкновенной и белошапочной овсянок в Иркутской обл.

нились лишь в сильно пересеченной местности, еще не вполне освоенной людьми, тогда как практически все долины и подножия сопок либо полностью лишились лесной растительности, либо заросли разновозрастным березняком. Любопытно, что там, где разреженные хвойные леса и участки вторичных насаждений четко разграничены, белошапочные овсянки и желтые птицы типа овсянки обыкновенной предпочитают придерживаться своих привычных местообитаний. Там же, где названные растительные сообщества размещены мозаично и не имеют четких разделительных границ, поселяются смешанные популяции овсянок, в которых пары белошапочных и «обыкновенных» овсянок нередко гнездятся бок о бок.

Казалось бы, ситуация в целом предоставляет все возможности для беспрепятст-



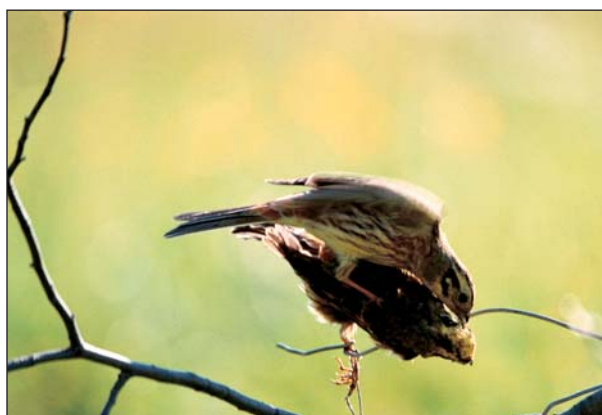
«Желтый» (слева) и «белый» гибриды.

венной гибридизации одних с другими. Тем более что местные желтые овсянки, вероятно, должны уже обладать смешанной наследственностью со значительной примесью генов белошапочной овсянки (поэтому название «обыкновенная овсянка» — в кавычках). Действительно, эти птицы могли расселиться сюда только из Западной Сибири, т.е. скорее всего они — потомки выходцев из гибридных популяций того типа, что обитает сегодня в Новосибирской обл. Разумеется, можно было бы допустить, что обыкновенная овсянка проникла в Прибайкалье еще до начала ее гибридизации с белошапочной в Западной Сибири, но этому

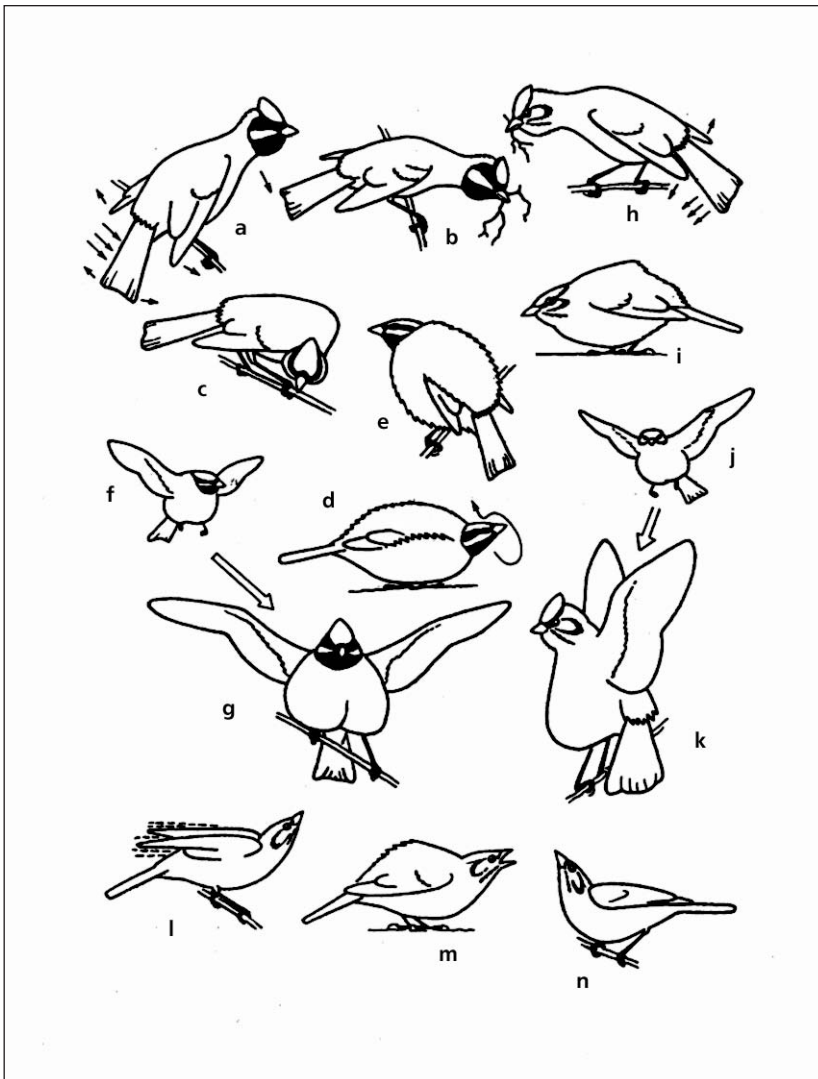
предположению противоречит документированный факт массового появления «обыкновенных овсянок» в Прибайкалье не ранее 60-х годов. А в то время, как нам известно, процесс гибридизации в Западной Сибири уже развивался лавинообразно.

Не оставалось никаких сомнений, что в окрестностях Иркутска удастся собрать новый богатый материал по особенностям состава гибридных популяций, а также получить ценные сведения о поведении птиц и их образе жизни в подобной любопытной ситуации. Каково же было удивление, когда оказалось, что либо все размножающиеся пары состояли из самца и самки ти-

пичной белошапочной овсянки, либо оба партнера выглядели как желтые «обыкновенные» овсянки. Правда, большинство «обыкновенных» самцов несли окрасочные маркеры генов белошапочной овсянки и в этом смысле ничем не отличались от желтых птиц из популяции Академгородка. Но они определенно не воспринимали местных белошапочных овсянок как своих «родичей по крови», а те явно платили им той же монетой. Примечательно, что в период наших исследований среди желтых самцов (будь то птицы типа обыкновенной овсянки или явные гибриды) оказалось немало холостяков, а вот почти все самцы белошапочной



Самец обыкновенной овсянки нападает на чучело — мнимого соперника.



Брачное поведение самцов белошапочной (а–г) и обыкновенной (h–k) овсянок и позы самок этих видов во время общения с самцами (l, m и n соответственно); а–с и h – позы самцов, ухаживающих за самками; d–g, i–k – последовательные фазы поведения самца непосредственно перед коитусом.

овсянки были счастливыми семьянинами.

Каким же образом происходит опознавание «своих» и «чужих» у интересующих нас овсянок. Ранней весной, когда формируются брачные пары, самки, возвращающиеся с мест зимовок, разыскивают самцов своего вида, ориентируясь на их песню. Это — сигнал дальнего действия, обеспечивающий первую встречу супругов. Кроме того, песня

самца служит для соперника предупреждением, что данная территория уже занята. Таким образом, песня способствует рассредоточению самцов и, следовательно, более или менее равномерному распределению гнездящихся пар данного вида в пределах занятых ими местообитаний. Что касается взаимодействий членов семейной пары в период гнездования, то здесь преобладающую роль играют другие опо-

знавательные признаки, сфера действия которых ограничена ближними дистанциями (окраска оперения и манера поведения птиц во время брачных игр).

Когда я помещал на гнездовом участке пары белошапочных овсянок клетку с желтым самцом-гибридом и одновременно включал запись типичной песни белошапочной овсянки, самец, хозяин участка, подлетал к клетке почти вплотную, но, лишь бросив беглый взгляд на самца-узника, сразу же терял к нему всякий интерес. Иначе он вел себя в ситуации, когда звучала запись песни белошапочной овсянки возле неподвижного чучела самца того же вида. Владелец участка, оценив обстановку, набрасывался на чучело и начинал свирепо клевать его в голову. Агрессор нападал до тех пор, пока «непрощенный гость» не был повержен.

Оказалось, что среди трех названных категорий опознавательных признаков (песня, окраска, брачное поведение) только облик птиц по-настоящему значим. Песни самцов обыкновенной и белошапочной овсянок в целом очень схожи, и, как показали опыты с озвучиванием песен одного вида для особей другого в естественной обстановке, птицы не всегда способны улавливать межвидовые различия в песнях. Прокручивание записей песен белошапочных овсянок, сделанных в окрестностях Иркутска, на гнездовых участках обыкновенных овсянок в Костромской обл. только подтвердило наши предположения: почти все местные самцы реагировали на эти звуки как на вторжение самца-соперника. Подобное поведение птиц говорит о том, что явные структурные различия в песнях двух видов не могут, вероятно, работать в качестве главного фактора, препятствующего гибридиза-

ции. То же можно сказать и в отношении брачного поведения, которое построено у обыкновенной и белошапочной овсянок по единой схеме, различаясь лишь во второстепенных деталях.

Таким образом, можно предполагать, что в случае, если самец и самка разных видов вынуждены силой обстоятельств вступить в брак-мезальянс, преодолев при первой встрече аверсию в отношении «неадекватной» окраски полового партнера, сходная структура коммуникативных сигналов позволит им в дальнейшем благополучно довести процесс размножения до логического конца. Одна из причин, благоприятствующих подобного рода смешанным бракам, — отсутствие в данный момент холостых особей противоположного пола. Разумеется, такая ситуация относится к категории редких, случайных событий. Однако, коль скоро опытами по скрещиванию интересующих нас видов в неволе, равно как и прямыми наблюдениями в природе, показано, что смешанные пары приносят жизнеспособное и полноценное во всех отношениях потомство, единственный подобный эпизод может стать своего рода «затравкой» для дальнейшего длительного процесса интеграции генетических систем двух видов. Постепенное накопление в смешанной популяции гибридов, вовлекаемых в процессы размножения, приводит ко все большему размыванию четких границ между взаимодействующими видами.

Напрашивается вывод, что в данном случае процесс пе-

ремешивания генофондов двух близких видов есть не что иное как функция времени. В пользу этой гипотезы свидетельствуют прежде всего изменения, произошедшие за 30 лет в популяции овсянок Новосибирской обл. Похоже, в данном случае мы столкнулись с так называемой поглотительной гибридизацией, которая привела к исчезновению фенотипа белошапочной овсянки и к формированию своеобразной полиморфной популяции. Заместив смешанную популяцию двух видов с характерными для них четкими типами окраски самцов, новая гибридная популяция овсянок дала длинный постепенный ряд изменчивости их окраски — от типичной для одного из родительских видов (овсянки обыкновенной) до таких ее вариантов, которые не найдены нигде в Евразии, кроме как в самом центре давней зоны гибридизации между интересующими нас видами.

Не менее показательна ситуация в Иркутской обл., которую можно рассматривать как модель взаимоотношений двух видов на самых первых этапах их сосуществования — длительностью всего в несколько десятков лет. Напомним, что птицы, окрашенные по типу обыкновенной овсянки, начали интенсивно вселяться в исконную область существования белошапочной овсянки только в середине XX в. И хотя сейчас гибридизация, вероятно, носит характер редкой случайности, можно с большой вероятностью прогнозировать, что со временем и здесь возникнут очаги

локального слияния видов, как это произошло в окрестностях Новосибирска.

Разумеется, в короткой популярной статье нет возможности хотя бы мельком коснуться всех вопросов, возникающих по ходу проводимого исследования. Несколько упрощая изложение, я умолчал о том, что и в Западной Сибири существуют точки, где белошапочная овсянка сохранилась почти в первоизданном виде. Например, на одном из лесистых островов оз. Большие Чаны, расположенного примерно в 400 км к юго-западу от новосибирского Академгородка, нашей рабочей группой была бегло обследована локальная популяция, в которой среди восьми наблюдавшихся самцов семь оказались типичными белошапочными овсянками и лишь один выглядел как беспорный гибрид. Очевидно, существуют некие механизмы, противодействующие полному нивелированию окрасочных и поведенческих признаков двух родительских видов даже в самой гуще событий, в центрах локального их слияния. Понять, что это за механизмы, а также ответить на целый ряд других вопросов, касающихся взаимоотношений обыкновенной и белошапочной овсянок, — дело дальнейших исследований. Сейчас ясно одно: мы столкнулись с замечательным модельным примером эволюции, протекающей на наших глазах. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 96-04-50575.

Гималаи. Самые высокие, прекрасные и загадочные

Г.Ф.Уфимцев

Самые высокие горы на Земле — Гималаи. Лишь Чогори, вторая по высоте вершина мира (8611 м) располагается в Каракоруме (Индия). Все остальные восьмитысячники — пики Гималаев. А сколько здесь семитысячников. Но высочайшие не значит самые красивые. Может быть, это покажется странным, но самые прекрасные гималайские вершины не достигают 7000 м и по местным меркам горы рядовые. Например, горный массив Кхумбу Гимал: Эверест (8848 м), Лхоцзе (8516 м), Макалу (8463 м), Чо Ойо (8201 м), а царит здесь, правит бал ладная и грациозная Ама Даблам (6856 м).

От средних по высоте гималайских вершин невозможно отвести взгляд: Мачарпучхар в Аннапурна Гимале, Чомопомери в Лангтанге, Пумори в Кхумбу Гимале. Первая из них долго сопровождает путника от Покхары на юг. И на каждом повороте извилистого горного шоссе вы ищите и находите ее своим взглядом. Гималаи поделились прекрасным с народом, в них обитающим. Нигде так, как в Непале, путешественник не ощущает того внутреннего комфорта, который способ-



Геннадий Феодосьевич Уфимцев, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кабинетом неотектоники и геоморфологии Института земной коры СО РАН (Иркутск). Область научных интересов — неотектоника, региональная и теоретическая геоморфология.

ствует достижению целей его поездки.

Но оставим эмоции и обратимся к нашей работе, к тому, зачем я стремился в Гималаи. Мечта их увидеть сопровождала меня на протяжении более чем 30 лет. Я геолог и геоморфолог, и главной целью моего путешествия в Непал было ознакомление с рельефом высочайшей и, пожалуй, самой загадочной на Земле горной страны.

Загадка геологического строения и рельефа

Гималаи составляют южную окраинную цепь горных сооружений Внутренней Азии. В то же время они морфологически удивительно напоминают поднятия островных дуг северо-западной окраины Тихого океана. Их фронтальный уступ — аналог внешних склонов островодужных поднятий

Ролвалин Гимал и его главная вершина Гауришанкар (7144 м).

Здесь и далее фото автора

Каменные потоки в верхней части склона вблизи Чарикота. Размер глыб — до 12 м в поперечнике. Так рождаются хаотические комплексы.

Древние отложения озера Пхева в Покхаре.



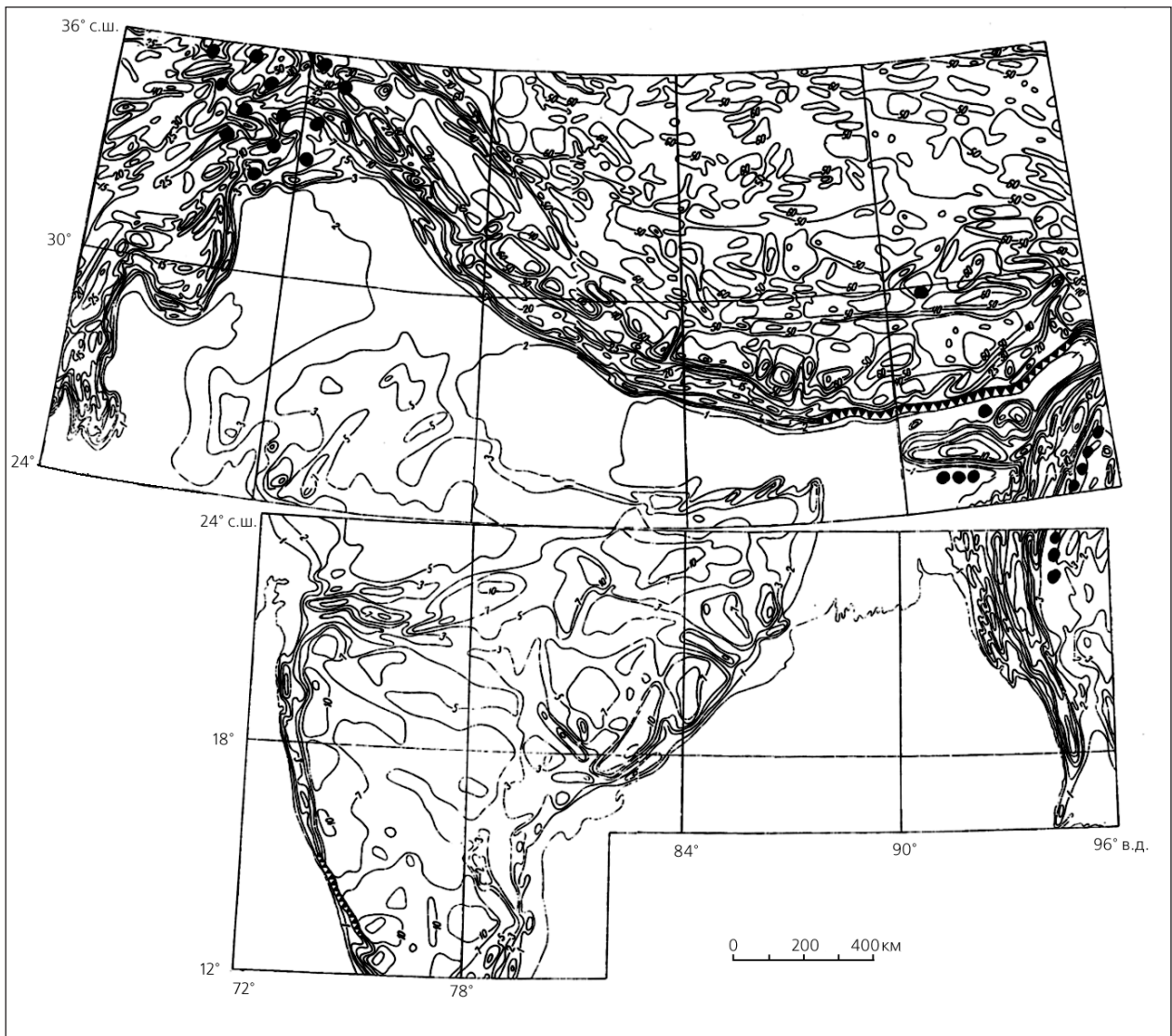
в сторону глубоководных желобов. В нижних частях таких склонов залегают аккреционные призмы — деформированные осадки, срезанные с поверхности океанической литосферной плиты, погружающейся под островную дугу. Фронтальный уступ Гималаев опирается на холмистые гряды и низкогорные массивы Сивалика — морфологического выражения интенсивных деформаций неоген-четвертичных отложений в месте поддвига Индостанского суб-

континента под горное сооружение. Это своего рода внутриконтинентальный аккреционный клин. Низкие Гималаи — морфологический аналог внешних островодужных поднятий типа Малокурильской гряды или подводного хребта Витязя, а долина Катманду подобна междуговым бассейнам Алеутской островодужной системы.

Морфологическое сходство островодужных поднятий и Гималаев определяет приложение к ним одних и тех же

геодинамических моделей в духе тектоники литосферных плит. Насколько удовлетворительны данные модели, мы попытаемся рассмотреть ниже, а пока продолжим характеристику геолого-геоморфологических особенностей горных сооружений.

Гималаи — южное окраинное поднятие Тибет-Гималайской секции Средиземноморского молодого (альпийского) подвижного пояса, смещенного на север более чем на 1000 км относительно его со-



Рельеф Гималаев и их окружения. Числа на изолиниях обозначают сотни метров. Залитыми кружками показаны участки глубокофокусных землетрясений, зубцами — уступ поверхности геоида.

предельных частей в Иране и Индокитае [1, 2]. Будучи частью этого пояса, они представляют собой поднятый, или как бы выдвинутый и преобразованный в систему надвиговых пластин, блок фундамента Индостанской платформы, отчасти перекрытый палеозой-мезозойскими осадками пассивной континентальной окраины. Поэтому большинство высочайших вершин мира сложены преимущественно пологозалегающими слоями известняков и других осадоч-

ных горных пород. Высокие Гималаи в виде гигантской моноклинали подняты на большую высоту и смещены по надвигам на юг вместе с подстилающим фундаментом древней платформы. И потому странной оказывается тектоническая позиция Индо-Гангского передового прогиба, сопровождающего эту горную цепь с юга. В отличие от других подобных прогибов он не разделяет платформу и складчатое сооружение, а как бы наложен на первую, поскольку

край молодого орогенического пояса оказывается тоже частью древней платформы.

Главная особенность геологической структуры Гималаев — серия переместившихся с севера на юг пологозалегающих надвиговых пластин. Характерная черта их — наложенная последующая складчатость. Обычно же складчатые деформации в орогенических поясах либо предшествуют надвигам, либо происходят одновременно. Эрозионное преобразование разделило лобо-

вые части надвиговых пластин на останцы, которые в условиях горизонтального сжатия литосферы испытывали выжимания. В результате сформировались клиновидные горсты [3], составляющие наиболее высокоподнятые части Низких Гималаев.

Небезынтересным оказывается сравнение Гималаев с горной системой Загроса — южной окраиной Иранской секции Средиземноморского подвижного пояса, — также граничащей с Аравийским субконтинентом. Последний наравне с Индостаном относится к «осколкам» распавшегося древнего южного материка Гондваны. Загрос — складчатые горы, возникшие при тектоническом сжатии (поперечном сокращении) мощного и продолжительно формировавшегося комплекса осадков пассивной континентальной окраины, перекрывающих погруженный участок древнего Аравийского кратона (части Африканской платформы). В сущности Загрос и Гималаи дают нам примеры одного и того же процесса поперечного сокращения верхних частей литосферы молодых орогенов в результате горизонтального сжатия, но на разных уровнях. То, что мы видим в Гималаях, происходит в Загросе на больших глубинах.

Тектоническому рельефу Гималаев свойственно продольное расчленение, выражающееся в первую очередь в наличии понижений, разделяющих отдельные массивы высокогорья — гималы. Такие поперечные понижения проникают далеко на север, в Тибет, и особенно эффектно выглядят на перспективных космических снимках. Вдоль горизонтально смещенных относительно друг друга массивов гималов заложены долины крупнейших рек, пересекающих Высокие Гималаи (Арун, Кали-Гандак).

Вообще следует сказать,

что Гималаи начисто лишены какой-либо водораздельной роли. Практически это одностатные горы. Они возвышаются над крутой цокольной поверхностью гор этой части Средиземноморского подвижного пояса [4]. Перепад высот цоколя под ними достигает 4000—4500 м, и большая его часть располагается под Высокими Гималаями. Долины Цангпо и Инда, ограничивающие Гималаи с севера, находятся уже на верхней части ската гор, а днища впадин Тибета располагаются над ними, на еще больших высотах. Поэтому и сам материковый водораздел между реками Индийского океана и бессточными бассейнами Внутренней Азии имеет необычную позицию — также в верхней части ската цоколя молодого подвижного пояса.

Высокий и крутой скат цокольной поверхности определенно придает Гималаям гравитационную неустойчивость. Возможно, поэтому здесь проявляется гравитационный тектогенез, но вопрос этот совершенно не изучен.

Особенность гималайского горообразования

Модель тектоники литосферных плит в приложении к гималайскому орогенезу не согласуется с характером сейсмического режима этой части Евразийского континента. Казалось бы, мы должны ожидать наличие погружающейся на север сейсмофокальной зоны с глубокофокусными землетрясениями под северной частью Гималаев и южной — Тибета. В действительности этого нет, и под Тибетом на большой глубине зафиксирован лишь один (!) сейсмический толчок — в районе Лхасы. Напротив, глубокофокусные землетрясения отмечаются под Индо-Гангским

передовым прогибом, и особенно южнее плато Шиллонг. Но наибольшим распространением глубокофокусных землетрясений характеризуются районы вблизи окончаний Гималайского поднятия (Ассамский и Памир-Пенджабский синтаксисы — гигантские горизонтальные складки, образованные дуговыми гирляндами покровно-складчатых горных цепей).

Характер сейсмичности Тибета, Гималаев, Индостана и Индокитая не объясняется моделью субдукции одной литосферной плиты под другую в ее ортодоксальном исполнении. В морфологической и геологической структуре Гималаев наблюдается причудливое переплетение результатов разнородных геодинамических обстановок: элементов сходства с островодужной геодинамикой, включая формирование предгорного аккреционного клина; тектонического сжатия посредством одновременного перемещения надвиговых клиньев и пластин; приповерхностной складчатости и возможного гравитационного соскальзывания верхних частей литосферы над крутым и высоким скатом цоколя гор. Эта комбинация и делает Гималаи загадочными в их геолого-геоморфологическом отношении. Рядом же с ними располагается не менее удивительный Тибет. Обычно он — наравне с Гималаями, Тянь-Шанем, Алтаем, горами, тянущимися на север, вплоть до Байкала, — объединяется в состав системы внутриконтинентальной коллизии (сближения) Евразийской и Индостанской литосферных плит [5]. Но в тектоническом рельефе Тибета не просматриваются следы сжатия литосферы. Более выражены свидетельства рифтогенеза. Тектонический рельеф Тибета напоминает Провинцию хребтов и бассейнов Северной Америки. Итак, в структурном отноше-



Низкие Гималаи. На вершинах гор располагаются поля-террасы.



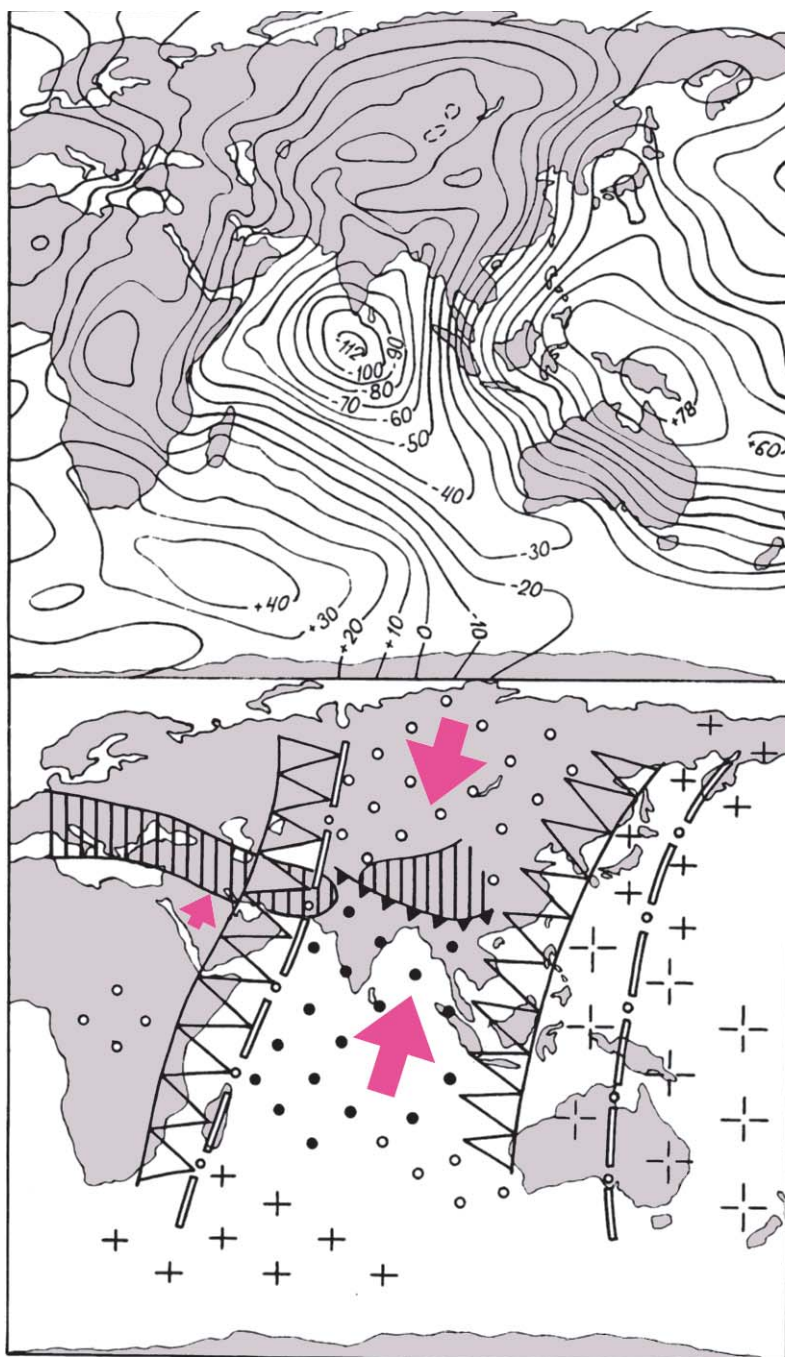
Поперечное понижение в Высоких Гималаях, разделяющее высокогорные массивы — Лантанг Гимал (слева) и Ролвалин Гимал.

нии данная внутриконтинентальная коллизийная система включает разобщенные элементы: Гималаи (поперечное сокращение за счет надвиговых клиньев и пластин), Тянь-Шань и Алтай (сводовые изгибы и надвиги, продольные смещения линзовидных блоков верхних частей литосферы) и Тибет (проявления рифтогенеза). Внутриконтинентальная коллизийная система, выделяемая во Внутренней Азии, здесь по размерам сопоставима с размерами взаимодействующих литосферных плит. Более того, по площади она превышает Индостанский субконтинент! Это крайне необычная ситуация. Внутриазиатский коллизийный пояс представляет собой своеобразное шовное образование, а такого рода тектонические формы по размерам значительно уступают порождающим их структурам. Следовательно, мы вправе предполагать существование особенных причин гималайского горообразования, и коллизийных явлений во Внутренней Азии вообще.

Гигантский коромантийный блок

Рельеф геоида (геометрически сложной поверхности равных значений потенциала силы тяжести) дает хорошую подсказку в решении этой проблемы. В Азиатско-Индоконском регионе выделяется обширная полоса понижений поверхности геоида до отрицательных значений, с

Рельеф геоида в Азиатско-Индоконском регионе (вверху) и его тектоническая интерпретация. Стрелками показано перемещение коромантийных геоблоков.



самым глубоким на Земле минимумом (–112 м) южнее Индостанского п-ова и о.Шри-Ланка. Этот сектор геоида с востока и запада ограничен протяженными и встречно-наклонными скатами, которые (судя по результатам глобальной сейсмической томографии) представляют собой крупные линеаменты, проникающие на глубину вплоть до раздела ядро—мантия. Само Азиатско-Индокоеанское понижение поверхности геоида неоднородно и распадается на две крупные части: Индокоеанский минимум и Азиатскую пониженную ступень. Они разделены невысоким уступом-скатом вдоль Гималаев и структурным мысом в районе Тибета. Возможно, Гималайский уступ поверхности геоида также транслируется на глубину до границы ядро—мантия, но относительно субширотного линеамента смещается на север на расстояние, эквивалентное двум третям протяженности Индостанского п-ова. А сопровождающий его мыс — морфологиче-

ское отражение глубинной структуры под Тибетом.

Азиатско-Индокоеанское понижение поверхности геоида — следствие залегания в мантии этой части Земли относительно охлажденных и уплотненных масс, что подтверждается результатами глобальной сейсмической томографии. Расчеты показывают, что центр масс, обуславливающий существование Индокоеанского минимума геоида, находится на глубинах 700—800 м [6]. Следовательно, относительно тяжелое (охлажденное) тело имеет вертикальные размеры порядка 1500 км и, видимо, представляет собой гигантский коромантийный геоблок, объем которого минимум в 10 раз превышает объем литосферной плиты. И не плита, а именно Индокоеанский коромантийный тяжелый геоблок смещается на север и приходит в столкновение с таковым же Азиатским геоблоком. Эффект внутриконтинентальной коллизии во Внутренней Азии, включая формирование высочайшего

Гималайского поднятия, можно рассматривать как результат взаимодействия именно гигантских геоблоков, и, возможно, что в Азиатско-Индокоеанском секторе Земли в этом процессе участвует вся мантия, а наблюдаемые элементы тектоники литосферных плит — лишь частный элемент такого взаимодействия.

Мы полагаем, что здесь существенное, если не определяющее, значение имеют ротационные процессы. Именно тяжелый и охлажденный Индокоеанский коромантийный геоблок производит наибольшую работу, смещая южное крыло молодого подвижного пояса на север более чем на 1000 км. При преодолении инерции получивший разгон этот тяжелый блок обладает наибольшими значениями количества движения или кинетической энергии. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 99-05-65638.

Литература

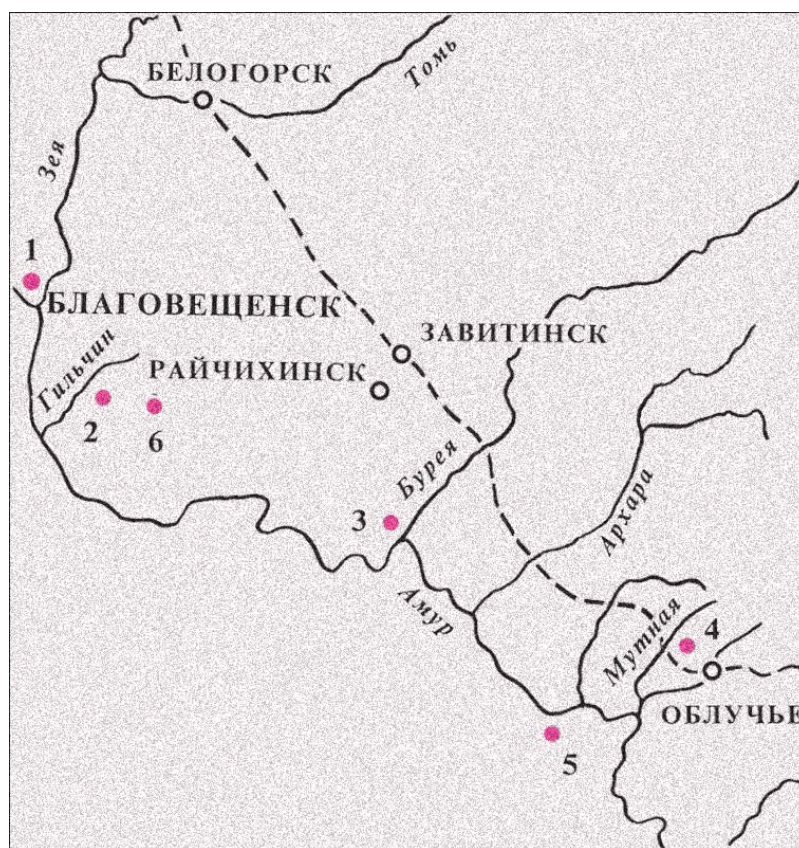
1. Гансер А. Геология Гималаев. М., 1967.
2. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. М., 1984.
3. Geological map of Nepal: Scale 1:1 000 000. Kathmandu, 1994.
4. Уфимцев Г.Ф. Горные пояса континентов и симметрия рельефа Земли. Новосибирск, 1991.
5. Molnar P., Tapponnier P. // Science. 1975. V.189. P.419—426.
6. Тараканов Ю.А., Винник Л.П. // Докл. АН СССР. 1975. Т.220. №2. С.339—341.

Там, где жил амурозавр

Ю.Л.Болотский,
кандидат геолого-минералогических наук
В.Р.Алифанов,
кандидат биологических наук
Палеонтологический институт РАН
Москва

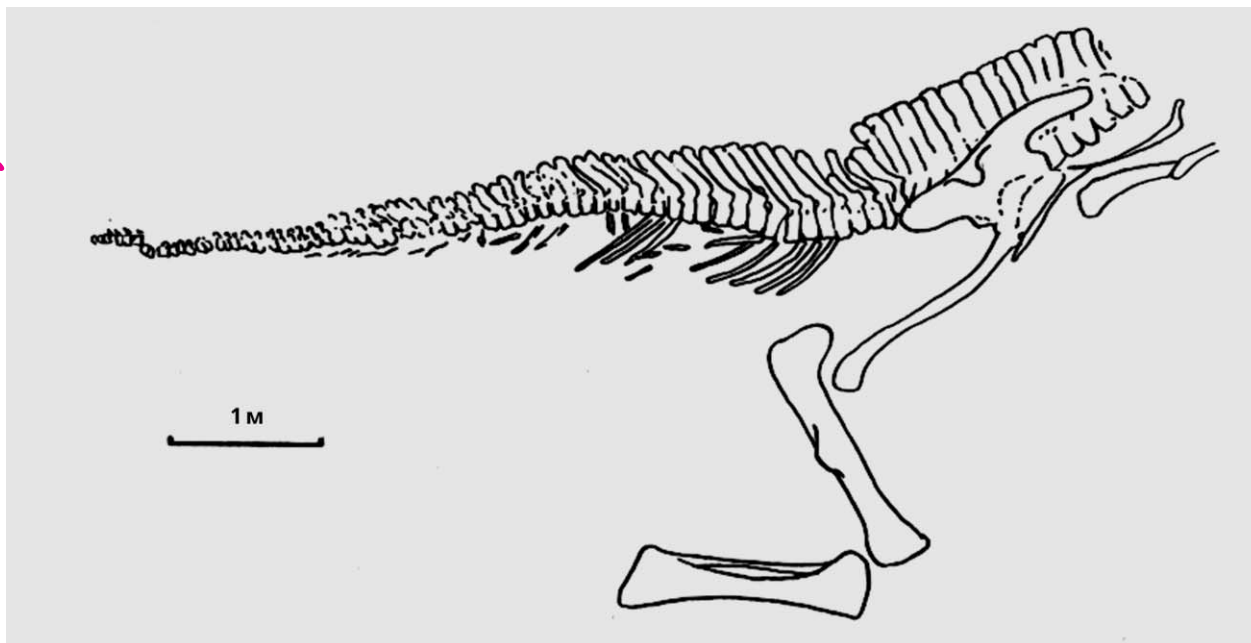
История изучения динозавров в России началась с находок их остатков на Дальнем Востоке. В 1902 г. газета «Приамурские ведомости» сообщила, что казаками на правом берегу Амура, в 400 км ниже г. Благовещенска, обнаружены необычно крупные кости. В 1914 г. на этом местонахождении, получившем название Белье Кручи, побывал палеоботаник А.Н.Криштофович. Найденный там обломок кости он показал палеозоологу А.Н.Рябинину, который определил фрагмент как часть голени динозавра. В летние сезоны 1916 и 1917 гг. поисками и раскопками ископаемых позвоночных в Белых Кручах занимался полевой отряд Геологического комитета России. В опубликованных в 1930 г. материалах описывались остатки трех форм динозавров, а также доказывался позднемеловой (маастрихтский) возраст костеносных пород.

В 1951 г. А.К.Рождественский (Палеонтологический институт АН СССР) вместе с небольшим сопровождающим отрядом открыл в районе слияния русел Амура и Буреи новое местонахождение — Асташиха. Пробные раскопки



Местонахождения динозавров в Приамурье.

1 — Благовещенск,
2 — Гильчин, 3 — Асташиха,
4 — Кундур, 5 — Белье Кручи, 6 — Димское.



Часть скелета гадрозавра, вскрытая в 1999 г. на местонахождении Кундур.

были проведены и на обнажении вблизи западной окраины Благовещенска, известном еще с конца 40-х годов. Именно на нем в начале 80-х сотрудники Амурского комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН начали широкомасштабные раскопки. Многолетние сборы на этом местонахождении, оказавшемся к началу работ в городской черте, принесли сотни образцов, по которым Ю.Л.Болотским и С.М.Курзановым был описан новый вид динозавра — амурозавр Рябинина (*Amurosaurus riabinini*).

В последние годы поиски костей динозавров чаще проводились на юго-востоке Амурской обл. Там при прокладке автомобильной трассы Чита—Хабаровск, на участке в междуречье Мутной и Удурчукана, были вскрыты задержанные континентальные породы позднемезозойского возраста. В 1990 г. палеонтологи из Благовещенска обнаружили в них многочисленные остатки динозавров. Это местонахождение получило название от расположенного

неподалеку поселка — Кундур. С того времени из искусственных обрывов извлечено более тысячи ископаемых костей и их фрагментов, а летом 1999 г. обнаружен почти целый скелет динозавра в естественном сочленении. находка подобного качества — первая для Амурской области. Раскопки скелета еще не закончены, их затягивают большой объем работ по вскрытию костеносного слоя и влажность коренной породы, затрудняющая изъятие ископаемого материала.

Амурозавр и ящер из Кундура относятся к группе гадрозавров. Эти растительноядные околородные рептилии стали очень многочисленными и разнообразными в самом конце мезозойской эры. Наиболее крупные из них достигали 10—12 м длины. Задние конечности гадрозавров были столбообразными, мощными, передние же — слабыми, а хвост сжат с боков. Пожалуй, самая яркая особенность их внешнего облика — сильно уплощенные челюсти. Из-за этого гадрозавров часто называ-

ют утконосыми динозаврами. Есть основания предполагать, что ящер из Кундура и амурозавр принадлежат ветви шлемоголовых гадрозавров. У них, в отличие от плоскоголовых форм, челюсти сравнительно короткие, а костная основа выростов на верхней части головы внутри полая.

В позднем мелу Приамурья существовало, судя по находкам зубов в Благовещенске и Кундуре, несколько форм хищных динозавров. В их число входят относительно небольшие (не более 2,5 м длины) дромеозавр (*Dromaeosaurus*), заврорнитолест (*Saurornitholestes*) и троодон (*Troodon*). Обитали в Приамурье и тираннозавры (Туганпозаврия), закрепившие за собой славу самых крупных и кровожадных наземных существ в истории Земли. Известно, что длинные задние конечности и огромные челюсти с острыми зубами сочетались у них с миниатюрными двупальными передними лапами. Летом 2000 г. в Кундуре впервые обнаружено несколько разрозненных тираннозав-

ровых позвонков. Особенно удачной оказалась находка третьего шейного позвонка — узкого и скошенного по нижнему краю. Такая форма позволяла животному резко изгибать шею, что обеспечивало повышенную подвижность головы при движении и питании. С помощью позвонков можно установить приблизительную длину приамурского ящера-тирана: она достигала 7—8 м.

По составу динозавров приамурские отложения, выделяемые в цагайскую свиту, сходны с породами, которые выходят на поверхность в Южной Монголии. Последние обнажения составляют так называемую нэмэгэтинскую свиту и обычно принимаются за верхнюю часть меловых толщ Центральной Азии. Однако комплексы динозавров из этих двух отложений все же не одинаковы.

Цагайский комплекс отличается от нэмэгэтинского преобладанием остатков шлемо-

головых гадрозавров, а также тираннозавров с мелкими и слабо искривленными зубами. Вместе с тем набор некрупных хищников из Приамурья скорее характерен для конца мелового периода западной части Северной Америки (от Мексики до севера Аляски), а не Южной Монголии. Различия сравниваемых динозавровых комплексов позволяют предположить, что возраст толщ, из которых они происходят, разный. Нэмэгэтинские отложения, как известно, залегают согласно поверх пород, которые накапливались в Центральной Азии в предшествующую эпоху, когда процветали рогатые динозавры. Поэтому напрашивается вывод о более молодом возрасте цагайской свиты.

Отложения, содержащие кости приамурских динозавров, некоторые ученые связывают с образованием сезонных паводков на просторах обрамленной горами обширной Амурско-Зейской впади-

ны. После продолжительных ливней или землетрясений с возвышенностей могли сходить сели, в потоках которых гибли животные, а их останки сносились вниз. Исходя из состава содержащихся в костеносных породах спор и пыльцы ископаемых растений, палеоботаники из Биолого-почвенного института ДВО РАН В.С.Маркевич и Е.В.Бугдаева установили, что во время образования приамурских захоронений позвоночных действительно был теплый климат с выраженной сезонностью. Те же данные позволяют считать, что динозавры, обнаруженные в Кундуре, погибли 73—70 млн лет назад — в начале последнего для мелового периода маастрихтского века. А вот Благовещенское местонахождение сформировалось примерно 70—68 млн лет назад, т.е. в среднем маастрихте, или за несколько миллионов лет до конца мезозоя и предполагаемого всеобщего вымирания динозавров. ■

Конкурс научно-популярных статей среди держателей грантов РФФИ

1. Российский фонд фундаментальных исследований объявляет конкурс научно-популярных статей по результатам исследований, поддержанных грантами РФФИ. Объем статьи: до 0.5 авт. листа (12 машинописных страниц через два интервала, 20 Кб тестового файла), до 8 иллюстраций. Среди авторов статьи должен быть руководитель гранта. Кроме рукописи представляются стандартные формы РФФИ 1, 2, а также дискета с файлами form1.txt, form2.txt и файлом статьи в текстовом или винвордовском формате. Если иллюстрации выполнены в компьютерном виде, они также должны быть приведены на дискете (в графических форматах *.EPS, JPG, JPE, PSD, TIF, BMP, AI, с разрешением 300 dpi).

Статья должна включать краткую научную биографию автора(ов) с указанием номера гранта РФФИ.

В статье должен содержаться краткий обзор состояния области науки к моменту начала исследований по гранту, четко очерчены цели исследований и наглядно представлены их результаты. Статья должна быть доступна читателям с университетским образованием.

На конкурс могут быть представлены оригинальные работы или статьи, опубликованные в научно-популярных журналах в 2000, 2001 гг.

2. Грант для победителей конкурса установлен в размере 13 850 руб.

3. Премированные статьи после редактирования будут изданы в виде сборника.

4. Оценка работ проводится экспертными советами РФФИ совместно с представителями ведущих научно-популярных журналов.

5. Срок представления заявок до 15 сентября 2001 г. включительно. Объявление результатов — в декабре 2001 г.

Физики и световая чувствительность глаза

академик М.А.Островский

Н.Л.Сакина,

кандидат биологических наук

И.Б.Федорович,

кандидат биологических наук

Институт биохимической физики им.Н.М.Эмануэля РАН

В.М.Чеснов,

кандидат технических наук

Институт истории естествознания и техники РАН

Москва

«Биология становится слишком серьезной наукой, чтобы ее можно было доверять биологам», — пошутил кто-то из физиков. Конечно, это несправедливая шутка, но в отношении физиологии зрения в какой-то мере верна. Именно физики сделали первый шаг в решении проблем оптики глаза, цветового зрения, абсолютной световой чувствительности. И это неслучайно, ибо физика, в первую очередь оптика, и физиология зрения тесно связаны.

Геометрическая оптика возникла на заре науки. Она пыталась объяснить законы распространения света и построения изображений при помощи оптических приборов. Ошибка Леонардо да Винчи была неизбежной, когда он пытался законами геометрической оптики объяснить неперевернутость зрительного изображения. Понадобился гений физика И.Кеплера, чтобы рассмотреть глаз как обычный оптический прибор, прийти к единственно правильному выводу: изображение на сетчатке и перевернутое, и уменьшенное. На вопрос, почему же мир воспринимается неперевернутым, он отвечал: «Я оставил его натурфилософам». Натурфилософы, т.е. физиологи, ответили на него столетиями позже.

Со времен Евклида, Галена и Птолемея до 1583 г. существовало заблуждение, будто хрусталик — чувствующий свет орган. Именно Кеплер, который, воздав должное всеми забытому биологу Ф.Платеру, осознал, что светочувствительный орган зрения не хрусталик, а сетчатка. Кеплера по праву следует считать отцом физиологической оптики.

© М.А.Островский, Н.Л.Сакина, И.Б.Федорович, В.М.Чеснов

На заре эллинской культуры, еще в V в. до н.э., Эмпедокл предположил, что существуют некие основные цвета, смешение которых создает бесконечное разнообразие цветовых оттенков. Затем И.Ньютон объяснил физику цвета, сознательно оставив в стороне физиологию цветового восприятия. И наконец, физик (медик по образованию) Т.Юнг, открывший явление интерференции, в 1802 г. предложил теорию цветового зрения, согласно которой в глазу человека имеются только три приемника, воспринимающих основные цвета — красный, зеленый и синий. Теорию Юнга забыли на столетия. Одновременно и независимо о ней вспомнили два других физика — Дж.К.Максвелл в Шотландии и Г.Гельмгольц в Германии. Создатель электромагнитной теории света Максвелл разработал точные методы измерения цвета, которые применялись до самого последнего времени. Энциклопедист естествоиспытатель Гельмгольц (тоже медик по образованию) существенно развил и утвердил трехкомпонентную теорию Юнга. Такова историческая цепочка: философ Эмпедокл (V в. до н.э.), физики Юнг, Гельмгольц, Максвелл (XIX в.). Задача будущего — выяснить клеточные и молекулярные механизмы восприятия цвета, разобраться в генетике и информатике цветового зрения.

Абсолютная чувствительность глаза

Жизненный опыт убеждает, сколь чувствителен глаз человека к свету. Астрономы давно научились краешком глаза (как мы теперь понимаем, периферическим палочковым зрением) различать на ночном небе даже самые сла-

бые звезды. Однако необходимы были конкретные знания о минимальной энергии света или числа квантов, способных создать субъективное ощущение световой вспышки. От этого прямо зависит понимание процессов преобразования светового сигнала в зрительный, т.е. понимание молекулярных механизмов фототрансдукции.

Как мы теперь знаем, в эксперименте по определению порога чувствительности зрительной системы необходимы следующие условия: предварительная темновая адаптация глаза наблюдателя; фиксация пятна света на периферии сетчатки, где находятся более чувствительные к свету палочки (сумеречное зрение); достаточно маленькое световое пятно, падающее на сетчатку глаза, порядка 10 или менее угловых минут; кратковременная (~1 мс) световая вспышка; определенная длина волны света, соответствующая максимуму спектральной чувствительности палочкового зрения (около 510 нм).

Еще в конце XIX в. вполне грамотно определил порог чувствительности глаза американский физик и астроном С.Р.Лэнгли (1834—1906). При изучении солнечной активности ему необходимо было измерять интенсивность радиации во всем диапазоне длин волн. Так он создал тепловой детектор световой энергии — болометр, чувствительность которого не зависела от длины волны света, что и было принципиально важным для Лэнгли [1]. Современное определение гласит, что болометр — это калиброванный высокочувствительный прибор с плоской спектральной характеристикой для измерения световых потоков. Усовершенствованные болометры используются по сей день. Таким образом, директор обсерватории, профессор физики и астрономии Питсбургского университета Лэнгли вошел в историю науки как изобретатель болометра, а в историю физиологии зрения как физик, экспериментально определивший порог абсолютной световой чувствительности глаза. Согласно Лэнгли [2], значение по энергии — $3 \cdot 10^{-9}$ эрг, что соответствует потоку, содержащему 800 фотонов. Это всего лишь на порядок величины выше современных значений. И это можно понять, поскольку знания физиологии зрения того времени не позволило учесть в эксперименте целый ряд факторов.

Пороговые значения, полученные независимо Ю.Б.Харитоновым и С.И.Вавиловым в конце 20 — начале 30-х годов, были гораздо ближе к современным. Как и Лэнгли, для решения собственных физических задач им требовалось регистрировать исключительно слабые световые вспышки. Болометры того времени их не удовлетворяли, а других точных приборов еще не было. Самым чувствительным прибором оказывался собственный глаз экспериментатора.

Опыты Ю.Б.Харитона

Харитон, физик в жизни и гуманитарий в душе, в 1926 г., совсем молодым человеком, попал в Кембридж, в Кавендишскую лабораторию к великому Э.Резерфорду. Ему была предложена классическая задача — счет α -частиц. Тогда широко использовали сцинтилляционный метод, но, как ни странно, его характеристики были недостаточно хорошо изучены. В частности, оставалась неизвестной чувствительность метода, определяемая в первую очередь порогом зрительного восприятия. Известные к тому времени работы по нахождению абсолютной световой чувствительности глаза — минимального количества квантов, вызывающего зрительное ощущение, — давали значения в интервале от 10 до 10 000.

Харитон и его коллега С.Ли разработали психофизическую установку, в которой определение порога зрения осуществлялось в условиях повторяющихся наблюдений сцинтилляций [3]. В качестве источника света использовали газонаполненную лампу, помещенную в ящик с небольшим

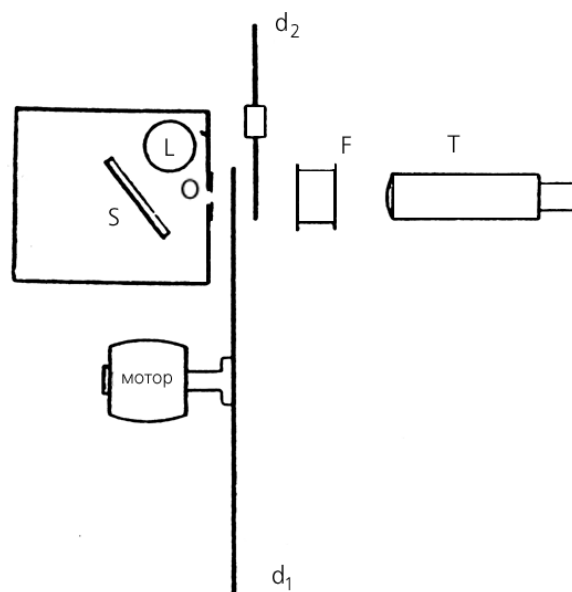


Схема установки Ю.Б.Харитона. L — газонаполненная лампа; O — небольшое отверстие в ящике; S — медная пластинка, напыленная оксидом магния; d1, d2 — диски с отверстиями, вращающиеся с разной скоростью; F — фильтр, наполненный водным раствором CuSO_4 и KCrO . Подбором состава добивались минимального поглощения при $\lambda = 500$ нм. Полоса пропускания фильтра ($\lambda = 470\text{--}520$ нм) соответствовала цвету сцинтилляций: чувствительность глаза в этой полосе близка к максимальной. T — зрительная труба.

отверстием. Для получения достаточно однородного потока отверстие освещали светом, отраженным от медной пластинки, напыленной оксидом магния. Система из двух дисков с отверстиями, вращающихся с разной скоростью, позволяла менять длительность вспышки от 0.1 до $5 \cdot 10^{-5}$ с. Свет, прошедший через водяной фильтр (с полосой пропускания $\lambda = 470-520$ нм), наблюдали на экране с помощью зрительной трубы. Изменение светового потока, входящего в телескоп во время вспышки, достигалось диафрагмированием объектива.

В опытах испытуемые довольно быстро утомлялись. Поэтому каждому из них предъявляли только по три вспышки со значительным перерывом в сериях, затем рассчитывали среднее значение по пяти повторам. Выяснилось, что тренированные по сравнению с новичками видят вспышки меньшей интенсивности. Авторы объясняли этот факт умением опытных наблюдателей смотреть краешком глаза, т.е. использовать периферическое (палочковое) зрение. Палочки, как известно, почти на два порядка более чувствительны, чем колбочки, обеспечивающие центральное зрение.

Для опытных испытуемых пороговая реакция на вспышки длительностью меньше 1 мс возникала в среднем при 17 квантах, падающих на роговицу, для менее опытных — 30. Величина порога зависела от длительности вспышки. Самые слабые вспышки фиксировались глазом только при малых длительностях — менее 1 мс. Реакция глаза на продолжительные световые стимулы (до 1 с) увеличивала пороговое значение до 200 квантов.

Харитон и Ли отметили одну интересную физиологическую особенность: длительное голодание и прием тонизирующих лекарств снижали порог с 17 до 12 квантов. Механизм такой сенсibilизации до сих пор не понят.

Установка С.И.Вавилова

Если Харитон решал задачу счета α -частиц, то Вавилов как специалист по оптике и люминесценции изучал флуктуации света. Глаз человека оставался незаменимым оптическим инструментом. Выступая на первой конференции по физиологической оптике, проходившей в Ленинграде в 1934 г., Вавилов говорил: «Исключительная чувствительность глаза в темноте и наличие резкого порога зрительного ощущения дают возможность визуально наблюдать флуктуации светового потока». Еще в 1927 г. в первом издании книги «Глаз и Солнце» он писал: «...мгновенно глаз в состоянии почувствовать очень небольшое число квантов. <...> Пользуясь этим, можно глазом обнаружить прерывистое, квантовое строение света <...>. Глаз, таким обра-

зом, действительно “воочию” позволяет убедиться в квантовой, прерывистой структуре света. Замечательно, что таким способом определяется не чувствительность глаза как целого, а чувствительность только последних клеток (палочек), ответственных за зрительное возбуждение. Отдельные кванты стали, в буквальном смысле слова, видимыми» [4]. Вавилов здесь подчеркнул важнейшее обстоятельство физиологии зрения: порог возникновения светового ощущения, т.е. работы зрительной системы в целом, и возбуждения отдельной фоторецепторной клетки — это вовсе не одно и то же, они существенно различаются.

Вавилов исходил из того, что при очень малом световом потоке (а это как раз вблизи порога зрительного ощущения) его флуктуации становятся значительными, поэтому именно они и ограничивают восприятие света. Действительно, при малом числе регистрируемых глазом фотонов n_0 (от единиц до полутора-двух сотен) эти случайные числа подчиняются распределению Пуассона, для которого характерные флуктуации пропорциональны $\sqrt{n_0}$. Уверенное выделение глазом слабой световой вспышки возможно, только когда $n_0 \gg \sqrt{n_0}$ (сигнал превышает флуктуационный разброс), т.е. при достаточно больших n_0 . Относительно самой величины n_0 — статистически среднего значения для каждого наблюдателя — Вавилов предположил, что в темноте порогу зрительного восприятия коротких световых вспышек соответствует какое-то минимальное, для каждого свое, число поглощаемых фотонов. По его словам, «единственный метод получить n_0 дают лишь статистические измерения, вроде примененных нами. Таким образом <...> будет найдено действительное число фотонов, поглощаемое сетчаткой у порога раздражения. Все потери энергии, которые возникают в глазном яблоке вследствие отражения, поглощения и рассеяния и которые неизбежно влияют на любые энергетические методы, отпадают при статистических измерениях автоматически» [5].

С 1932 по 1941 г. в Государственном оптическом институте были выполнены сотни флуктуационных измерений с участием свыше десяти наблюдателей. Перед Вавиловым и его сотрудниками стояла задача добиться корректных условий опыта: кратковременности световых вспышек на фоне темновой адаптации, освещения небольших участков на периферии сетчатки при строгой фиксации их положения.

За 10 лет работы установка Вавилова несколько раз усовершенствовалась, но общая схема и основные элементы сохранялись [6]. Положение головы наблюдателя закреплялось с помощью подбородника таким образом, чтобы во время опыта глаз все время был фиксирован на красную сигнальную лампочку и свет от ос-

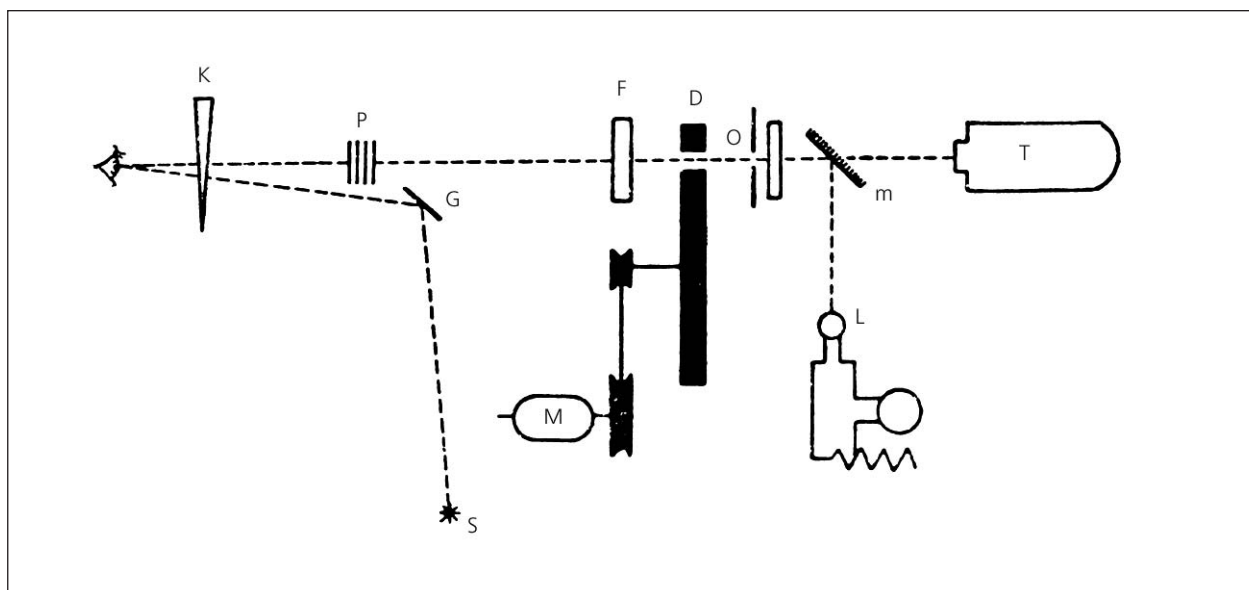


Схема второго варианта установки С.И.Вавилова. *S* — красная лампочка; *G* — стеклянная пластинка; *L* — лампочка, питаемая от аккумулятора; *m* — зеркало; *O* — диафрагма, закрытая молочным стеклом; *F* — зеленый фильтр; *P* — стопа стеклянных пластинок; *K* — нейтральный оптический клин; *D* — диск, насаженный на ось синхронного мотора (*M*); *T* — эталонный источник света (абсолютно черное тело).

новой электрической лампы (видимый как зеленая точка) падал на периферию сетчатки — в 8° от ее центра. Свет от лампы проходил к глазу через диафрагму, зеленый фильтр, стопу стеклянных пластинок и нейтральный оптический клин. Между глазом и лампой располагался вращающийся диск с отверстием, размеры которого обеспечивали кратковременность световых вспышек (0.1 с). Для измерений с различными длинами волн вместо лампы использовали монохроматор с источником света. В ходе опыта интенсивность светового потока постепенно понижалась сначала реостатом, затем добавлением стеклянных пластинок и введением оптического клина. Наблюдатель отмечал каждую видимую вспышку нажимом ключа. По числу вспышек и прохождений света через отверстия диска, автоматически фиксируемых на бумажной ленте, определяли вероятность видения вспышек.

Чтобы найти абсолютное число фотонов N , падающих на зрачок глаза в условиях порога восприятия, использовали эталонный источник энергии. Свет излучало нагретое тело, вплотную придвинутое к диафрагме (со снятым матовым стеклом). Зная геометрические параметры потока и характеристики излучателя как черного тела, экспериментаторы могли с достаточной точностью рассчитать (по закону Стефана—Больцмана) энергию фотонов, формирующих световое пятно на зрачке. Эти измере-

ния в сине-зеленой области спектра для разных наблюдателей дали $N = 108—335$ фотонов, в среднем 208. Различие между n_0 и N свидетельствовало о том, что большая часть энергии падающего на глаз света теряется на пути к фоторецепторам из-за отражения, поглощения и рассеяния в глазных средах и тканях.

Большинство измерений было сделано в сине-зеленой области спектра 500—550 нм. В этой области, как следовало из опытов Вавилова и его сотрудников, значения n_0 , соответствующие порогу на сетчатке, для одного и того же наблюдателя достаточно постоянны, но у разных людей могут быть различны. В работе 1933 г. пороговое число фотонов составило $n_0 = 47$; в работе 1934 г. $n_0 = 8$, а в сводной таблице (по результатам всех опытов в 1932—1941 гг.) $n_0 = 20$.

Эксперименты С.Хехта

В начале 40-х годов американские физиологи С.Хехт, С.Шлер и М.Пирен опубликовали результаты своих исследований по определению абсолютного зрительного порога. Эта работа до сих пор признается классической. Определение минимального числа квантов проводили, измеряя минимальную энергию света, падающего на глаз, который вызывает «видение» вспышки. Установка Хехта отличалась от схемы Вавилова лишь некоторыми модификациями.

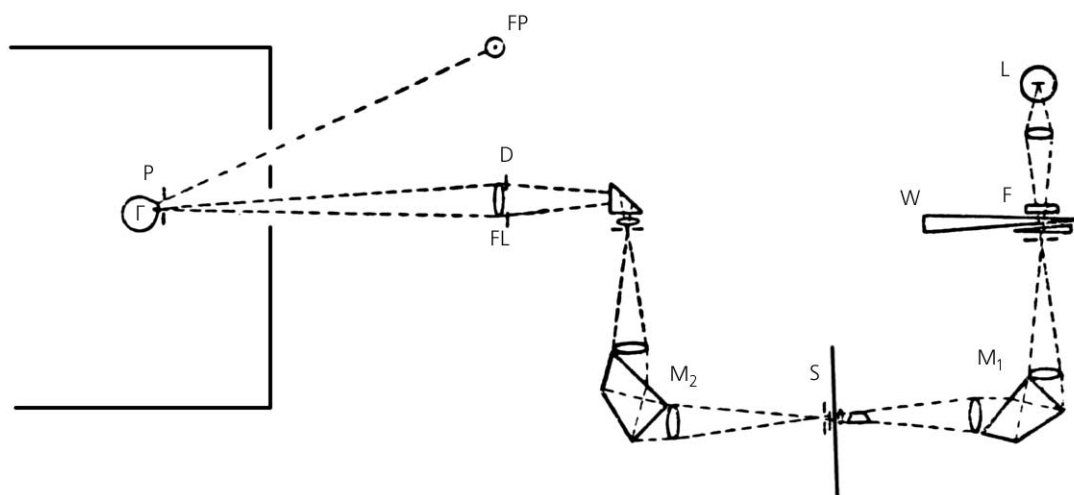


Схема установки С.Хехта. Г — глаз наблюдателя; P — диафрагма; FP — красная точка; FL — линза; D — диафрагма; L — лампа, питаемая от аккумулятора; F — нейтральный фильтр; W — оптический клин; M₁, M₂ — двойной монохроматор; S — затвор. При нажатии кнопки затвор открывает путь световому потоку ($\lambda = 510$ нм) на 1 мс.

Так, угол фиксации глаза на красную точку, который обеспечивал периферическое зрение, был большим (20°), угловой размер основного пятна на сетчатке — тоже большим (10°). Свет ($\lambda = 510$ нм) проходил к наблюдателю через нейтральный фильтр, оптический клин и двойной монохроматор. Длительность вспышки (1 мс) обеспечивал специальный затвор, а интенсивность света изменялась перемещением клина. Наблюдатель нажатием ключа производил вспышку (обычно около 50 вспышек одной и той же интенсивности) и сообщал, видел ли он ее или нет. Число фотонов, падающих на зрачок, пересчитывалось после измерения энергии света термоэлементом, установленным на диафрагме.

Минимум энергии света на роговице, при котором наблюдатели (7 человек) фиксировали вспышки, варьировал в пределах $(2.1-5.7) \cdot 10^{-10}$ эрг, соответственно чему и пороговое число фотонов сине-зеленого диапазона составило 54–148. Эти результаты перекрывались с данными Вавилова (108–335 фотонов), но были существенно больше, чем оценка Харитона и Ли (17 фотонов). По мнению Хехта, последние значения слишком малы [7].

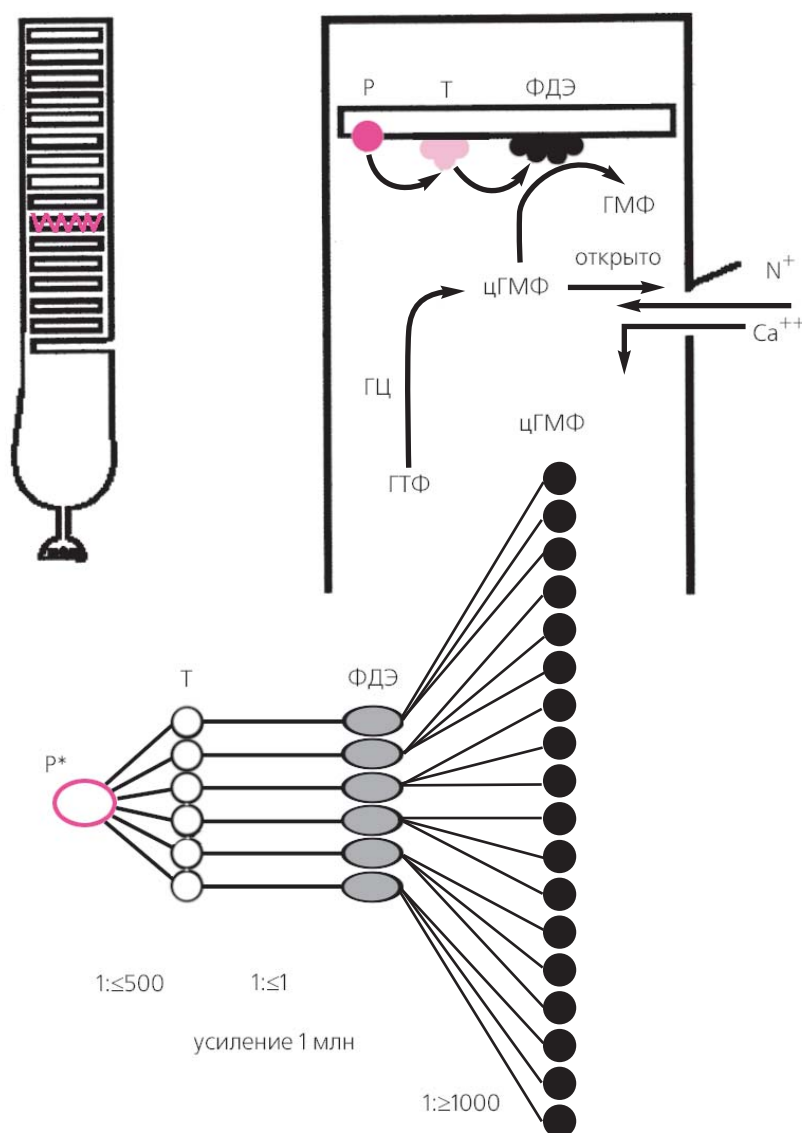
Для уточнения пороговых значений непосредственно на сетчатке Хехт и соавторы учли, что 4% падающего на глаз света отражается от роговицы, почти 50% поглощается хрусталиком и по крайней мере почти 85% оставшегося све-

та проходит через сетчатку, не поглощаясь ею. Говоря другими словами, если весь свет, падающий на сетчатку, принять за 100%, то лишь около 15% поглощается ею, а остальные уходят в черный пигментный эпителий, лежащий за сетчаткой. После проведения такой корректировки получалось, что из 54–148 фотонов, падающих на роговицу, сетчаткой поглощается лишь 5–14. Оценивая размеры освещаемой области сетчатки (~500 палочек) и считая, что каждый фотон поглощается только одной палочкой, авторы пришли к выводу: вспышку можно «увидеть», только если не менее 5–14 палочек почти одновременно поглотят по одному фотону.

Уточненная статистическая оценка флуктуаций потока, полученная Хехтом, давала для зрительного порога на сетчатке пять–восемь фотонов, что очень хорошо согласовалось с результатами измерений. Отметим здесь достаточную близость оценок Хехта ($n_0 = 5-8$) и Вавилова ($n_0 = 20$).

Современные представления

Итак, главный вывод из ранних работ Харитона и Ли (20-е годы), Вавилова и сотрудников (30-е годы) и Хехта и коллег (40-е годы) состоит в том, что зрительная клетка сетчатки — палочка — возбуждается при поглощении даже одного фотона. В ней фотон поглощается од-



Схематическое изображение фоторецепторной клетки сумеречного зрения — палочки (слева) и механизма фототрансдукции (справа). Внутри наружного сегмента палочки находится несколько сотен фоторецепторных дисков, каждый из которых содержит до 10^6 молекул зрительного пигмента родопсина (показано цветом). В мембране фоторецепторного диска находятся также основные белки — участники процесса трансдукции: Р — родопсин, Т — трансдуцин или G-белок и ФДЭ — фермент фосфодиэстераза; в цитоплазме наружного сегмента — фермент гуанилатциклаза — ГЦ. В темноте родопсин, трансдуцин и фосфодиэстераза неактивны. Ионный канал в плазматической мембране открыт благодаря «сидящим» на нем молекулам циклического гуанозинмонофосфата — цГМФ. Через открытый ионный канал внутрь клетки по градиенту концентрации поступают ионы натрия (Na^+) и кальция (Ca^{++}). В результате на мембране поддерживается электрический потенциал -40 мВ. При поглощении кванта света молекулой родопсина происходит изомеризация хромофора (11-цис ретиналя) и изменяется конформация белковой части молекулы. Это приводит к обесцвечиванию родопсина, который активирует трансдуцин (Т), в свою очередь взаимодействующий с фосфодиэстеразой (ФДЭ). Активированный ФДЭ гидролизует цГМФ, вследствие чего его концентрация в цитоплазме наружного сегмента падает. Ионный канал, который теряет цГМФ, закрывается, плазматическая мембрана гиперполяризуется, и возникает электрический нервный сигнал. Цепная реакция Р—Т—ФДЭ приводит к усилению светового сигнала в 10^5 – 10^6 раз (внизу).

ной из 10^9 молекул зрительного пигмента — родопсина. Палочка должна каким-то образом «узнать» возбужденную молекулу и ответить на это одноквантовое событие возникновением электрического (рецепторного) сигнала. В последние годы удалось впрямую зарегистрировать этот очень слабый электрический сигнал [8]. В результате стало ясно: ответ зрительной клетки (и палочки, и колбочки) на единичный фотон есть событие дискретное, не зависит от интенсивности света, длительности вспышки и длины волны (цвета). У колбочек, однако, его величина оказалась слишком мала для того, чтобы возник такой рецепторный сигнал, который передавался бы следующим нейронам сетчатки. Этим объясняется относительно низкая (примерно на два порядка величины) чувствительность колбочек по сравнению с палочками.

В палочке электрический рецепторный ответ на поглощение одного фотона достаточно велик (около 3% от максимального значения), чтобы пройти через синапс к следующим нейронам сетчатки. Механизм трансдукции в палочке более эффективен, чем в колбочке. Под трансдукцией понимают преобразование энергии фотона, поглощенного молекулой родопсина, в электрическую энергию фоторецепторного сигнала. Ощущение же слабой световой вспышки возникает только при суммировании в нервных клетках сетчатки сигналов от нескольких возбужденных палочек, причем в течение небольшого промежутка времени.

Зрительная система человека способна распознавать как слабую вспышку одновременное поглощение 5—7 фотонов в рецептивном поле, насчитывающем около 500 палочек. Физический предел абсолютной световой чувствительности палочки определяется не только высокой эффективностью процесса трансдукции, но и низким уровнем биологического темнового шума.

Трансдукция запускается поглощением фотона хромофорной группой (11-цис ретиналем) в молекуле родопсина. Достаточно большая энергия, которую доставляет поглощенный фотон, тратится на фотоизомеризацию 11-цис ретиналя. Вместе с тем из-за тепловых флуктуаций молекула родопсина может с некоторой вероятностью активироваться и без поглощения фотона (так называемая реакция спонтанной темновой изомеризации). Такую темновую изомеризацию палочка воспринимает как ложный световой сигнал. Вероятность тепловых изомеризаций крайне мала: при комнатной температуре ее полупериод достигает 500—1000 лет. Это означает, что молекула родопсина исключительно стабильна. Казалось бы, темновой шум в зрительной системе должен быть ничтожен. Но в наружном сегменте палочки содержится огромное количество молекул родопси-

на (у черепахи и лягушки $\sim 10^9$, у человека $\sim 10^8$), и суммарное число спонтанных изомеризаций в каждой палочке может быть не столь уж мало. Поэтому в зрительной системе возникает шум, который человек, долго находясь в полной темноте, может «увидеть» как очень редкие случайные световые вспышки.

Итак, палочка способна уверенно детектировать один фотон, т.е. представляет собой эффективный счетчик квантов света. Сейчас достаточно ясен молекулярный механизм, обеспечивающий высокую чувствительность палочки [9]. Фотоизомеризация 11-цис ретиналя в молекуле родопсина запускает каскад ферментативных реакций, усиливающий сигнал в 10^5 — 10^6 раз. В результате в наружном сегменте палочки возникает электрический сигнал, который распространяется вдоль клетки по плазматической мембране и передается в первом синапсе следующим нервным клеткам сетчатки. По существу фототрансдукция — это вариант классической цепной реакции, подобной атомному взрыву, только происходящий в светочувствительном наружном сегменте зрительной клетки.

Одно из удивительных и важных свойств палочки как счетчика одиночных фотонов — постоянство формы и величины электрического отклика, которое обеспечивается строго определенной геометрией клетки. Палочка напоминает фотоумножитель с сотнями или даже тысячами ориентированных фоторецепторных дисков. В плазматической мембране, окружающей всю клетку, равномерно распределены ионные каналы. Если световая вспышка достаточно яркая и насчитывает не десяток, а множество фотонов, они поглощаются молекулами родопсина по всей длине наружного сегмента. И тогда электрический ответ палочки существенно выше. Но все равно этот относительно большой электрический сигнал всего лишь сумма однофотонных сигналов.

Иными словами, элементарный акт в работе зрительной клетки — ее электрический ответ на поглощение единичного фотона. Таким образом, достаточно высокая энергия изомеризации 11-цис ретиналя, специфичность и высокая эффективность фототрансдукции, удивительное постоянство параметров фоторецепторного электрического ответа на поглощение единичного фотона и, возможно, некоторые другие механизмы и обеспечивают работу палочки в режиме счетчика фотонов с высоким отношением сигнал—шум.

Итак, абсолютная световая чувствительность зрительной системы (глаза и мозга) определяется наименьшим количеством световой энергии, которое вызывает субъективное ощущение света. В настоящее время порог светового восприятия экспериментально определен в

$(4-7) \cdot 10^{-10}$ эрг/с. Это — минимальный поток световой энергии от точечного источника, который падает на роговицу глаза и воспринимается мозгом как вспышка света. Для фотонов с длиной волны 507 нм (максимум кривой видности палочкового зрения) такая пороговая энергия соответствует 50–150 фотонам. Около половины этой энергии теряется на пути к сетчатке в оптических средах глаза, главным образом за счет отражения от роговицы и поглощения в хрусталике и стекловидном теле. Из доходящих до сетчатки 25–75 фотонов собственно фоторецепторными клетками поглощается всего 5–15, остальные (называемые «лишними») проходят сквозь сетчатку и погло-

щаются лежащим за ней однослойным черным пигментным эпителием.

Природа феномена предельной световой чувствительности зрительной клетки находит свое объяснение. Заслуга С.Лэнгли, Ю.Б.Харитона, С.И.Вавилова, С.Хехта и многих других исследователей состоит в установлении самого этого феномена: одного поглощенного светового кванта достаточно для физиологического возбуждения рецептора сумеречного зрения — палочки сетчатки глаза. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 99-06-80036.

Литература

1. Langley S.P. // Proc. Amer. Acad. Sci. 1881. V.16. P.342.
2. Langley S.P. // Phil. Mag. 1889. V.27. Series 5, 1.
3. Chariton J., Lea C.A. // Proc. Roy. Soc. 1929. V.CXXII.-A. P.304–352.
4. Вавилов С.И. Глаз и солнце. М., 1927.
5. Вавилов С.И. Флуктуации света и их измерения визуальным методом // Тр. физиол. оптики. Л., 1936. С.332–342.
6. Брумберг Е.М., Вавилов С.И. // Изв. АН СССР (ОМОН). 1933. №7. С.919–941.
7. Necht S., Sblaer S., Pirenne M.H. // J. General Physiology. 1942. V.25. P.819–840.
8. Островский М.А., Говардовский В.И. Механизмы фоторецепции позвоночных // Физиология зрения. М., 1992. С.5–59.
9. Pepe U.M. // J. Photochem. Photobiology. 1999. V.48. P.1–10.

Ладьи древних египтян и индейцев

Летом 2000 г. при раскопках древнеегипетских захоронений в Абидосе (550 км к югу от Каира) группа американских археологов обнаружила лодку из кедрового дерева длиной 23 м. Датированная временем 1-й династии (3100–2800 гг. до н.э.), она предназначалась для плаваний фараона по загробному миру. Это — древнейшая дароносная ладья, найденная в Египте.

Однако судостроение в столь давние времена развивалось, оказывается, и на Американском континенте: в апреле 2000 г. на дне оз.Ньюменс, что вблизи г.Гейнсвилл (штат Флорида, США), была обнаружена целая флотилия каноэ,

возраст которых по результатам радиоуглеродного анализа тоже составляет около 5000 лет. Интересно, что, по утверждению вождя местного племени индейцев-семинолов, древнее название этого озера — Питлачокко, что означает «место длинных лодок» (Sciences et Avenir. 2000. №646. P.46. Франция).

Реакция фитопланктона на колебания CO₂ в атмосфере

Увеличенная концентрация диоксида углерода в атмосфере не только создает тепловой эффект, но и непосредственно воздействует на водную и на-

земную растительность, благоприятствуя фотосинтезу.

Американские и немецкие биологи наблюдали под микроскопом угасание кальцификации (обызвествления) у двух видов кокколитофорид при повышении содержания атмосферного CO₂. Специалисты Лаборатории биологической океанографии Вильфранш-сюр-Мер обнаружили такую же реакцию кораллов и известковых водорослей. Сейчас еще рано оценивать возможные последствия этого процесса для морской экосистемы, поскольку пока нет количественного критерия потепления климата (Science et Vie. 2000. №999. P.24. Франция).

Новости науки

Астрономия

Рандеву с Эросом состоялось

12 февраля 2001 г. в 20:03 по Всемирному времени завершилась одна из самых успешных космических экспедиций последних лет: американский аппарат «NEAR-Шумейкер» плавно опустился на поверхность астероида Эрос (№433).

Зонд «NEAR» («Near-Earth Asteroid Rendezvous» — «Встреча с околоземным астероидом»), получивший после кончины известного американского геолога и планетолога Юджина Шумейкера его имя, был запущен 17 февраля 1996 г. Аппарат создан в Лаборатории прикладной физики Института им.Джона Хопкинса (США) и обошелся в 224 млн долл. Полет к Эросу организован в рамках программы НАСА «Дискавери».

Согласно первоначальному плану, сближение с астероидом должно было состояться в январе 1999 г., но из-за сбоя в программном управлении зонд не удалось вовремя затормозить. К счастью, инженеры сумели перевести «NEAR» на орбиту, которая позволяла ему год спустя вернуться к астероиду — 14 февраля 2000 г. «NEAR» был захвачен гравитационным полем Эроса, став первым в истории человечества искусственным спутником астероида.

В программу экспедиции входило исследование химического состава поверхности Эроса, измерения его гравитационного и магнитного полей и, конечно, фотографирование. В течение года аппарат изучал астероид с разного расстояния, иногда приближаясь к нему всего до 5 км, и за это время передал на Землю более 150 тыс. изображений, несколько миллионов высотных параметров рельефа и другую информацию. Когда на «NEAR» почти закончилось топливо, в НАСА приняли решение посадить зонд на

астероид, хотя казалось, что особого смысла в этом не было: конструктивно зонд к посадке непригоден, и шансы на сохранение его работоспособности оценивались как 1 к 100.

Спуск аппарата с орбиты продолжался менее часа. За это время он передал на Землю 69 изображений все той же гладкой пыльной поверхности, усыпанной бесчисленными валунами. Последний снимок был получен с высоты 125 м. Данные телеметрии показали, что аппарат приближался к поверхности со скоростью 1.5 м/с, а достигнув ее, один раз подпрыгнул или качнулся и застыл на боку, опираясь на две панели солнечных батарей.

На обработку результатов уйдет еще немало времени, но некоторые выводы уже сделаны. О них участники проекта рассказали на XXXII конференции, посвященной Луне и планетам, которая состоялась в марте 2001 г. в Хьюстоне.

По форме Эрос напоминает вытянутую картофелину с размерами приблизительно $34 \times 11 \times 11$ км³. Его масса $6.687 \cdot 10^{12}$ т, плотность 2.7 г·см⁻³, период вращения — 5 ч 16 мин; 80% поверхности Эроса покрыто кратерами диаметром от десятков метров до нескольких километров; самый большой кратер на Эросе — Психея — имеет диаметр 5.3 км. По-видимому, многие кратеры засыпаны слоем реголита, толщина которого местами может достигать 150 м. Особенно мало кратеров во впадине Химерос, имеющей, вероятно, ударное происхождение; на ее ровном дне лишь кое-где проступают сквозь толщу пыли едва заметные очертания других кратеров. Вероятно, каждое столкновение Эроса с метеоритом вздымает над его поверхностью тучи частиц грунта, которые потом медленно оседают, укрывая мелкие детали рельефа.

Кратерами топография Эроса не ограничивается. На нем есть

впадины с пологими и крутыми стенками, цепочки углублений, системы борозд длиной до нескольких километров и протяженные валы стометровой высоты. Такое разнообразие удивительно, учитывая, что облик астероида формируется только метеоритной бомбардировкой. К тому же странно, что размеры некоторых деталей рельефа сопоставимы с размерами самого астероида. Например, самый длинный вал протянулся почти на 15 км. Не исключено, что ранее Эрос входил в состав более крупного астероида и некоторые «отметины» остались на нем еще с тех времен. Впоследствии катастрофическое столкновение могло разрушить родительское тело, отбросив один из обломков, теперь известный как Эрос, из главного пояса астероидов ближе к Солнцу.

Самой удивительной топографической особенностью Эроса оказались разбросанные по всей его поверхности валуны размерами до 100 м. Единственной причиной их появления может быть все та же метеоритная бомбардировка. Но скорость разлета вещества на Эросе составляет всего от 3 до 17 м/с, и, казалось бы, осколки астероида при падении метеорита должны уходить в окружающее пространство. Тем не менее значительная их часть почему-то остается на астероиде.

До экспедиции высказывалось предположение, что породы на Эросе, подобно земным, должны быть дифференцированы, так как некоторое время пребывали в расплавленном состоянии. Поскольку на таком небольшом теле собственный вулканизм невозможен, дифференциация вещества могла бы служить еще одним доказательством того, что в прошлом Эрос входил в состав более крупного астероида. Однако данные с «NEAR» показали, что Эрос внутренне не расслоен и по химическому составу весьма однороден, хотя и про-

низан сплошь многочисленными трещинами (пористость достигает 20–30%). Эти трещины возникли, вероятно, вследствие метеоритной бомбардировки. Тем не менее Эрос сохранил целостность и не превратился в грудю обломков, связанных только взаимным гравитационным притяжением.

Отсутствие дифференциации вещества свидетельствует, что Эрос сохранился неизменным со времени образования Солнечной системы. Об этом говорят и результаты определения его поверхностного химического состава, полученные с помощью гамма-спектрометра уже после посадки «NEAR» (ради этих измерений экспедицию продлили на две недели). Новые данные, возможно, позволят окончательно разрешить вопрос о родстве между астероидами и метеоритами из класса хондритов. Последние, как полагают ученые, являются древнейшими остатками того «строительного материала», из которого возникли планеты Солнечной системы. По цветовым и химическим характеристикам Эрос действительно очень близок к хондритам, хотя, например, серы в его веществе содержится значительно меньше, чем в типичных хондритах.

© Д.З.Вибе,
кандидат физико-математических наук
Москва

Планетология

Похоже, океан на Марсе был

Сейчас поверхность Красной планеты представляет собой засушливую песчано-каменистую пустыню. Но все больше данных говорит о том, что так было не всегда. В первую очередь свидетельствуют об этом многочисленные вытянутые углубления, «каналы», похожие на русла давно пересохших рек. Однако эти водные артерии должны были откуда-то вытекать и куда-то впадать. Попытку решить эту проблему предприняли планетологи Дж.У.Хед и Х.Хизингер (J.W.Head, H.Hiesinger) из Бра-

унского университета в Провиденсе, М.Иванов из Института геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского РАН (Москва), М.Креславский из Астрономической обсерватории Харьковского университета (Украина) и др.

Не вызывает сомнений, что низменности северного полушария Марса, занимающие около трети всей его поверхности, играли важную роль в гидрологической и климатологической истории планеты. К этим низколежащим областям тянутся многие крупные русла гипотетических рек. Ряд исследователей уже высказывали мнение, что в древности на их месте существовали долговременные водные бассейны — озера или даже моря.

Когда были обработаны полученные с космического аппарата «Mars Global Surveyor» альтиметрические данные высокого разрешения, в глаза бросилась чрезвычайно плоская топография северных низменностей Марса. Выявился также крупнейший водораздел, ограничивающий эту гипотетическую акваторию.

Ранее Т.Дж.Паркер (T.J.Parker) с сотрудниками построили карту рельефа, на которой выделили две линии, параллельные южной границе низменностей, и интерпретировали их как береговые очертания гипотетического Северного полярного океана Марса в два различных периода заполнения его водой. По мнению исследователей, образование океана сопровождалось отложением осадочных пород, а это не могло не привести к выравниванию его дна. Данные, полученные от автоматической межпланетной станции «Викинг», позволили установить местонахождение осадочных пород — это северные низины Марса.

На основе имеющейся информации была сделана приблизительная оценка объемов северного марсианского бассейна: если в то время на планете существовала полярная ледяная шапка, то его объем составлял около $1.4 \cdot 10^7$ км³, если же такой шапки не было, то он был примерно на 10% больше. Вероятно, воды в этом Север-

ном океане было достаточно, чтобы покрыть всю планету примерно 100-метровым слоем.

Не исключено, что в пределах северных низин некогда существовало два водных бассейна: один, округлых очертаний, вероятно, ударного происхождения — в области Утопия, другой, неправильной формы, — непосредственно у полюса, где отмечена наиболее глубокая впадина ~ 5250 м. Возможно, временами оба бассейна сообщались между собой через соединяющий их узкий «канал».

В ходе геологической истории Марса на само существование океана и его уровень влияли различные причины (изменения в стоке рек, климатические и другие факторы), что должно было сказываться на положении и крутизне «континентального склона», подобно тому как это происходит на Земле. Действительно, такие черты удалось проследить на протяжении многих десятков километров как в пределах бассейна Утопия, так и Северного полярного бассейна Марса.

На территории этого «океана» совершили в свое время посадку «Викинг-1» и «Викинг-2», а «Патфайндер» — вблизи него. Полученные ими данные указывают на некоторые аномалии в химическом составе пород (например, повышенное содержание серы и хлора). Возможно, сульфаты и соли появились в результате длительного существования крупных водных масс.

Science. 2000. V.287. №5451. P.1601, 1626 (США).

Химия атмосферы

СО₂ в атмосфере: ситуация и перспективы

Сегодня, согласно подсчетам Всемирной метеорологической организации, ежегодно в атмосферу Земли выбрасывается в среднем около 1 т диоксида углерода на душу населения. Но по странам это количество различается весьма существенно. Так, в воздушное пространство США поступает в год более 5 т парникового газа в расчете

на одного гражданина. Для Японии и стран Западной Европы этот показатель тоже очень высок — между 2 и 5 т/год.

В то же время в развивающихся странах ежегодный выброс CO₂ составляет лишь около 0.6 т на человека, а более чем в 50 таких государств эмиссия CO₂ в расчете на человека не достигает и 0.2 т/год.

Чтобы предотвратить повышение концентрации этого газа в атмосфере до опаснейшего уровня, вдвое превосходящего доиндустриальную эпоху, средний выброс на планете парниковых газов должен снизиться до 0.3 т на душу населения (этот расчет сделан на основании прогноза, по которому численность человечества стабилизируется в пределах 10 млрд).

Многие исследователи считают, что принятый в Киото (Япония) Протокол о мерах борьбы с парниковым загрязнением атмосферы неэффективен и несправедлив по отношению к развивающимся государствам, ставя преграды их индустриализации. В основу дальнейшего ограничения загрязнения атмосферы предложено положить принцип учета того количества парниковых газов, которое приходится на душу населения данной страны.

Science. 2000. №5488. P.2287 (США).

Физика

Есть кремниевый светодиод!

Недавно международная группа ученых сообщила о создании кремниевого светодиода, работающего при комнатной температуре. Без преувеличения можно сказать, что «светящийся» кремний долгое время оставался большой темой для всей мировой физики и техники полупроводников. Основное препятствие заключалось в том, что объемный кремний — непрямозонный полупроводник. Предпринималось множество попыток изменить зонную структуру, в частности, за счет размерных эффектов, например путем формирования пористого кремния. Однако стабильной электролюми-

несценции получить не удавалось.

И вот наконец найдено ключевое решение. Стандартным для кремниевой технологии методом ионной имплантации в образец кремния вводят атомы бора, которые, с одной стороны, образуют обогащенную дырками область *p-n* перехода, с другой — вызывают появление в кремнии большого числа дислокаций вблизи перехода после отжига образца при 1000°C в течение 20 мин. Поле упругих деформаций вокруг дислокационных петель вызывает перестройку зонной структуры кремния и обеспечивает ограничение доступной для носителей заряда области участком *p-n* перехода.

Прибор работает, как обычный светоизлучающий диод, при прямом смещении ≥ 1 В и токе ≈ 50 мА. Спектр эффективной электролюминесценции лежит в ИК-диапазоне длин волн вблизи 1.15 нм, рабочий диапазон температур 80—300 К. По эффективности электролюминесценции кремниевый прибор сравним с коммерческими, изготовленными на основе арсенида галлия. Авторы намерены применить свой метод и к другим материалам, в частности карбиду кремния.

Помимо создания собственно кремниевого светодиода авторы видят свое достижение в том, что технология изготовления диода полностью совместима с технологией производства СБИС (сверхбольших интегральных схем).

Nature. 2001. V.410. №6825. P.192 (Великобритания); Website: <http://perst.issph.kiae.ru>

Организация науки

Ассигнования на науку в США увеличены

В октябре 2000 г. Конгресс США рассмотрел бюджетные ассигнования 2001 г. на нужды науки вообще, и космических исследований в частности. Решено выделить Национальному научному фонду 4 млрд 42 млн долл., что на 522 млн превышает сумму предшествовавшего года и почти соответствует запросам данного учреждения. Национальное агентство по аэронав-

тике и космическим исследованиям (НАСА) получает 14.3 млрд долл., что примерно вдвое превышает 3%-ю прибавку, о которой просил Белый дом. Кроме того, на отдельные нужды этого ведомства ассигнуются целевым назначением еще несколько сот миллионов долларов. Такая позиция Конгресса объясняется значительным превышением доходной статьи бюджета США 2000 г. над ранее планировавшимся.

Директор Национального научного фонда Р.Колуэлл (R.Colwell) выразила полное удовлетворение решениями Конгресса. Более сдержан руководитель научных программ НАСА Э.Уэйлер (E.Weiler), ссылающийся на инфляцию и превышение реальных расходов над ранее запланированными. Кроме того, некоторые навязываемые правительством в политических целях проекты (как строительство учебного центра на горе Мауна-Кеа в штате Гавайи, посетительского центра при Радиоастрономической обсерватории Грин-Бэнк в Западной Виргинии, планетария при Музее штата Южная Каролина в г.Колумбия и др.) поглотят немалые деньги.

Руководству НАСА для финансирования давно откладываемого полета космического аппарата к Плутону придется заимствовать средства, предназначенные для изучения спутника Юпитера — Европы.

Следует отметить, что Конгресс неполностью удовлетворил и некоторые заявки Национального научного фонда. Так, на исследования в области информационной технологии выделено лишь 215 млн вместо испрашенных 327 млн долл.; в области нанотехнологий — 150 вместо 217 и т.д.

Законодатели проявили большую, чем правительство, щедрость в поддержке местных и малых научных учреждений, аспирантов-стипендиатов и общего «неказенного» научного образования. Увеличены ассигнования на исследования в тех 20 штатах, которые ранее получали меньше других. Помимо прочего, Министерству энергетики США, связанному с научно-техническими раз-

работками в своей области, выделено около 24 млрд долл. Science. 2000. V.290. №5492. P.683 (США).

Зоология

Микрочелюстные — новый класс беспозвоночных

Датский исследователь Р.Кристенсен имеет среди зоологов прочную репутацию открывателя новых типов. В 1983 г. он, ныряя с аквалангом вблизи стен датского королевского замка Эльсинор, нашел лорицифер, которых отнес к отдельному типу морских беспозвоночных (другие исследователи трактуют лорицифер как класс в составе типа головохоботных¹). В 1995 г. Кристенсен вместе с другим датским зоологом П.Функом обнаружил еще одну группу ранее неизвестных организмов — циклиофор, которой также придал ранг нового типа животного царства. И вот — еще одно открытие, сделанное теми же авторами: новый класс микроскопических организмов — микрочелюстные (Micrognathozoa).

Первый и пока единственный представитель этой группы — *Limnognathia maerski* — найден в холодном ручье, вытекающем из тундрового мохового болота на о.Диско, вблизи побережья Западной Гренландии². Эти крошечные существа,

¹ Малахов В.В., Адрианов А.В. Цефалоринхи — новый тип животного царства // Природа. 1997. №3. С.3—17.

² Kristensen R.M., Funch P. // J. Morphology. 2000. V.246. P.1—49.

размером 0.1—0.15 мм, обитают во влажной подушке мха. На брюшной стороне микрочелюстных расположены два ряда ресничных клеток, выполняющих локомоторную функцию. Покровы этих животных сходны с покровами коловраток (в частности, материал защитной кутикулы откладывается внутри клеток покровного эпителия под цитоплазматической мембраной). Напоминают они коловраток и своим сложным челюстным аппаратом, который, однако, некоторыми деталями строения похож на челюсти морских червеобразных животных — гнатостомулид.

Все найденные особи, а их более 100, оказались самками. По видимому, микрочелюстные, как и многие другие мелкие многоклеточные, большую часть года размножаются партеногенетически, а карликовые самцы появляются только осенью. Возможно, впрочем, что микрочелюстные — скрытые гермафродиты.

Итак, по своей организации микрочелюстные ближе всего к коловраткам, хотя ресничного коловращательного аппарата у них нет. Вместе с коловратками и гнатостомулидами они образуют новый таксон высокого ранга — Gnatifera, который, вероятно, можно рассматривать как самостоятельный тип животного царства.

© Член-корреспондент РАН

В.В.Малахов

Москва

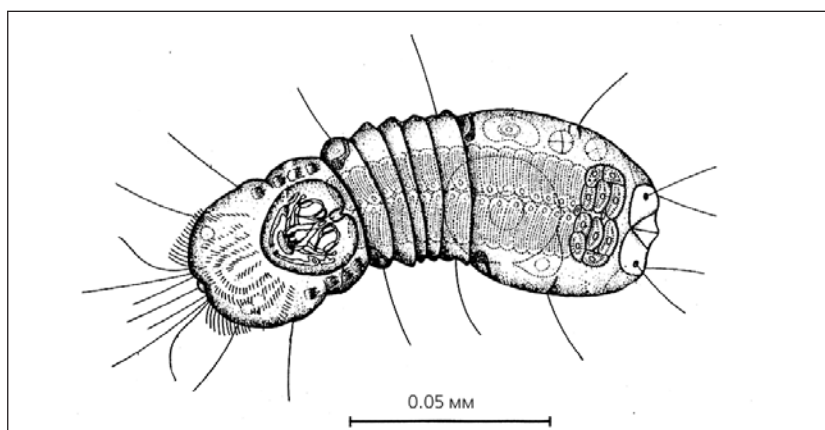
Генетика

Кормилицу для кукушат выбирают самки

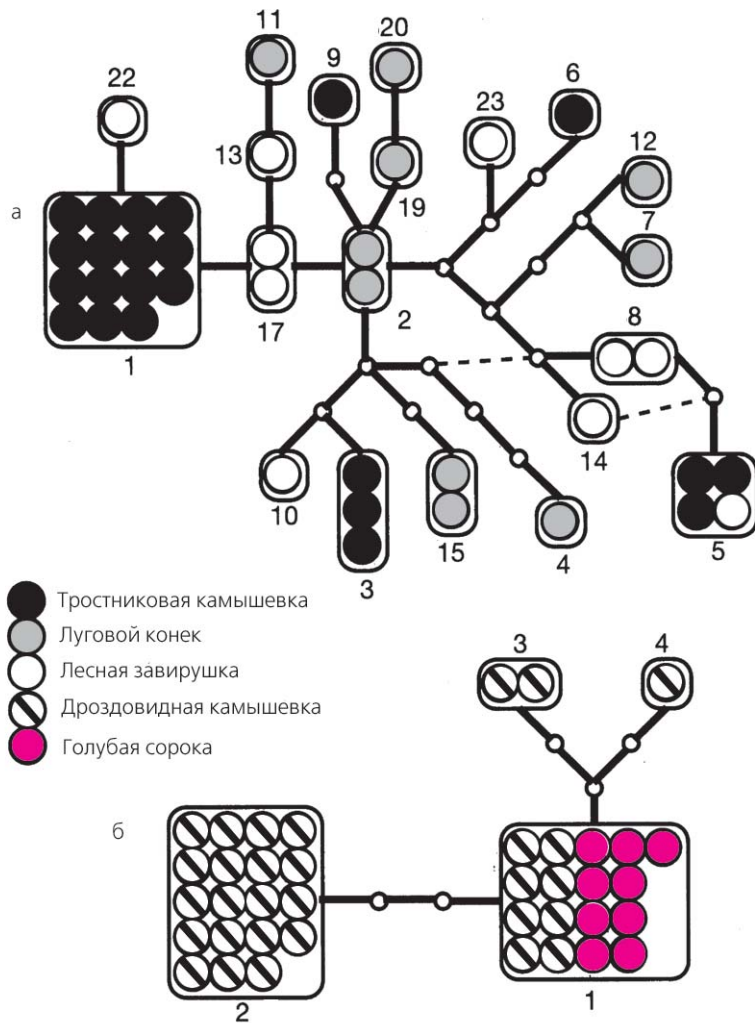
Подмечено, что самки обыкновенной кукушки (*Cuculus canorus*) откладывают яйца не в любое гнездо, а только птиц строго определенного вида. И в этом нет ничего удивительного, ведь в интересах кукушки ее яйца и не должны отличаться по окраске от яиц птицы — хозяйки гнезда. В зависимости от расцветки яиц в популяциях обыкновенной кукушки принято выделять расы по хозяину (генты). Например, в Великобритании наиболее часто встречается кукушка трех рас: тростниковой камышевки, лугового конька и лесной завирушки.

Орнитологи издавна ломали голову над вопросом, как в популяции гнездового паразита поддерживается независимое существование различных рас. Не вызвало сомнений, что информация об окраске яиц закодирована в генотипах самок кукушки, неясной оставалась роль генотипа самцов. Если допустить, что их генотипы также определяют принадлежность особей к разным гентам, то спаривание половых партнеров должно осуществляться строго избирательно — между самцом и самкой с одинаковыми (комплементарными) генотипами. Но в этом случае кукушки из разных рас оказались бы генетически изолированными и представляли бы собой самостоятельные виды, различающиеся лишь по признаку окраски яиц.

В соответствии с другой гипотезой, во многом подтвержденной исследованиями, проведенными группой ученых из Канады, США, Великобритании и Японии, наследование окраски яиц происходит только по материнской линии. Такой тип наследственности осуществляется обычно посредством митохондриальной ДНК (мтДНК), которая содержится не в ядрах половых клеток, а в органеллах — митохондриях цитоплазмы яйцеклетки. Исследователи сравнили структуру мтДНК у кукушат, взятых в разных районах Англии из



Представитель нового класса микрочелюстных — *Limnognathia maerski*.



Наиболее правдоподобная схема преемственности между разными гаплотипами мтДНК в Великобритании (а) и Японии (б). Каждый гаплотип обозначен номером. Количество кружков в каждой рамке соответствует числу кукушат с данным гаплотипом. Количество отрезков прямой, соединяющей два данных гаплотипа, отражает число замен нуклеотидов при переходе от одного гаплотипа к другому.

гнезд тростниковой камышевки, лугового конька и лесной завирушки. Оказалось, что кукушата, выращенные приемными родителями разных видов, различались по структуре мтДНК (иначе говоря, характеризовались разными гаплотипами). Всего в изученной популяции кукушек было выявлено 20 гаплотипов. Из них восемь соответствовали расе лугового конька, семь – лесной завирушки и четыре – тростниковой камы-

шевки. И лишь один гаплотип характеризовал помимо трех кукушат, взятых из гнезд камышевки, еще одного, выращенного завирушкой.

Аналогичные результаты получены в Японии. Здесь выявили четыре гаплотипа. Из них три были свойственны кукушатам, выкормленным дроздовидными камышевками, а четвертый обнаружен у восьми кукушат, выращенных птицами того же самого вида,

и еще у девяти, найденных в гнездах голубых сорок. Идентичность гаплотипов у кукушат, воспитанных приемными родителями двух разных видов, показывает, что кукушки могут с течением времени менять хозяев. Известно, в частности, что в Японии кукушки начали откладывать яйца в гнезда голубых сорок всего лишь 30 лет назад.

О том, как часто и по каким сценариям может происходить смена хозяев, можно судить по дендрограммам, отражающим сходство и различия в структуре мтДНК гаплотипов и, следовательно, их возможную эволюционную преемственность. Так, по данным, полученным в Великобритании, генетическая структура каждого гаплотипа может быть выведена из структуры любого другого. В частности, дендрограмма, построенная на этих материалах, позволяет предположить, что предки кукушек, ныне откладывающих яйца в гнезда тростниковых камышевок, прежде были связаны с луговым коньком, а еще раньше – с лесной завирушкой. Все эти изменения обратимы. В эволюционных масштабах времени смена хозяев у обыкновенной кукушки, видимо, происходит довольно часто. Исходя из концепции молекулярных часов (20% изменений в генетической структуре за миллион лет), можно допустить, что в Великобритании исходный гаплотип, давший начало всем найденным сегодня, существовал по крайней мере 80 тыс. лет назад, а в Японии – 65 тыс. лет назад.

Изучение фрагментов ядерной ДНК, которые в отличие от мтДНК оказались во всех случаях одинаковыми, окончательно убедило ученых в том, что генотип самцов не играет никакой роли в наследовании изучаемого признака. Принимая во внимание, что у птиц, в отличие от человека, гетерогаметный пол представлен самками (их половые хромосомы – ZW; самцов – ZZ), исследователи предполагают, что особенности окраски яиц самок, принадлежащих данному генту, закодированы в генах женской половой W-хромосомы. Nature. 2000. V.407. P.183-186 (Великобритания).

Геофизика

Снежные мегадюны Антарктиды

В ряде районов Антарктического плато более десяти лет назад были обнаружены нигде более не встречающиеся на Земле гигантские дюны: волны высотой в несколько метров протягивались на 100 км.

Группа исследователей во главе с Фанстоком (Fahnstock) завершила анализ изображений поверхности Антарктического плато, полученных из космоса с помощью радиометра высокой разрешающей способности AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Установлено, что три крупных поля, где открыты подобные образования, расположены в районах с аномально низким уровнем аккумуляции снега.

Площадь наибольшего из полей около 300 тыс. км². Здесь гребни дюн вытянуты перпендикулярно направлению господствующих ветров. Судя по микроволновому рассеянному излучению, зарегистрированному с помощью радиометра, подветренные стороны дюн слагают крупнозернистый снег, который, вероятно, подвергался рекристаллизации. Объяснить это явление можно, предположив, что

в подобной местности образуются стоячие воздушные волны, которые могут нарушать приповерхностный температурный градиент, обусловленный обычным радиационным охлаждением снега. Если такая волна перемещает массу более теплого воздуха на подветренную сторону дюны, там возможна рекристаллизация снега на весьма крупных площадях.

Таким образом, снежные дюны в отличие от песчаных формируются в результате значительно более сложных взаимодействий подстилающей поверхности с атмосферой. Характер и интенсивность рекристаллизации могут серьезно влиять на местные климатические условия, что необходимо учитывать при любых реконструкциях.

Geophysical Research Letters. 2000. V.27. P.3719 (США).

Океанология

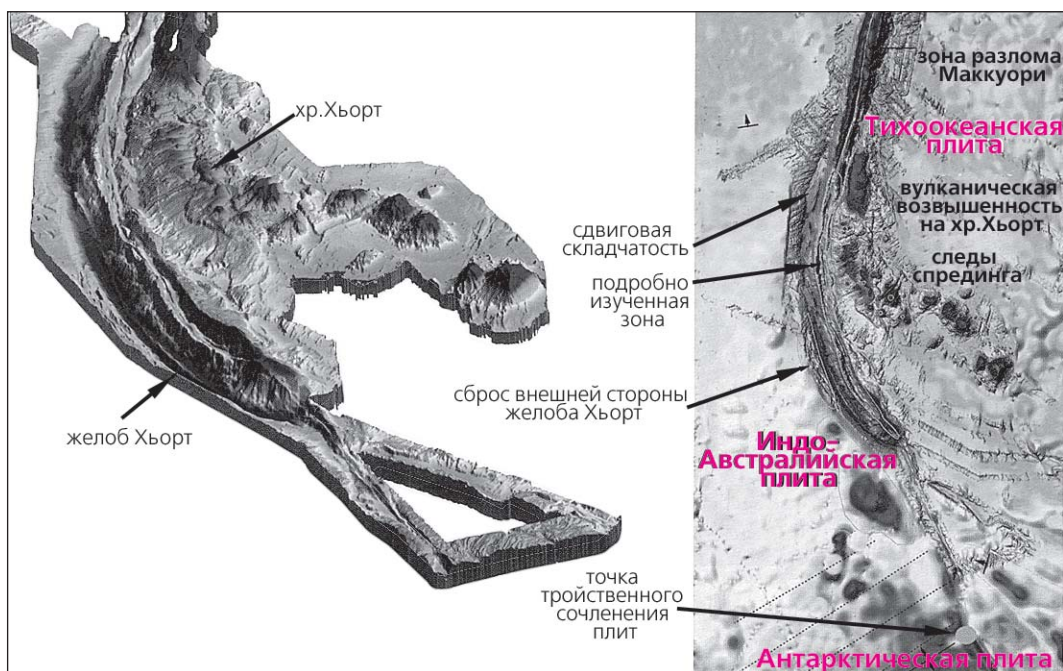
Австралийская наука выходит в океан

В январе 2000 г. из порта Хобарт (штат Тасмания, Австралия) вышло в море зафрахтованное австралийским правительством французское научно-исследовательское судно «L'Atalante». В зада-

чи экспедиции, научным руководителем которой был океанолог Дж.Бернардель (G.Bernardel; Геологическое управление Австралии, Канберра), входило: получить максимум геологической, геофизической, океанологической и сейсмологической информации относительно района вокруг о.Маккуори (Тасманово море); собрать материалы, позволяющие Австралии, которой ныне принадлежит этот остров, распространить в соответствии с Конвенцией морского права свою юрисдикцию на морское дно к югу от ее 200-мильной Исключительной экономической зоны.

Работы, на которые ассигновано 50 млн австр. долл., осуществлялись в рамках государственной программы «AUSTREA-2»; ее исполнение возложено на Национальное управление по океану и его использованию и Управление природной среды. В рейсе были выполнены картирование и геофизическая съемка морского дна к юго-востоку от Тасмании и к югу от о.Маккуори на протяжении 10 200 км. Впервые составлена подробная батиметрическая карта на площади 140 тыс. км². Получена гравиметрическая и геомагнитная информация; на различных глубинах измерены температура и соленость морских вод.

Строение южной части хр.Маккуори; слева — подробно изученный участок.



Район исследований известен высокой сейсмичностью: именно в этой области соприкасаются три гигантские плиты земной коры — Тихоокеанская, Индо-Австралийская и Антарктическая. Экспедиция высветила строение главной системы подводных каньонов, пересекающих юго-восточную часть морского ложа около о.Тасмания; установила сложный характер подводной горы Каскейд на востоке Тасманийского плато и других гор подводного поднятия. При этом на дне была обнаружена сильно пересеченная осевая долина, прилегающая к желобу Хьорт, глубина которого достигает 6500 м. Установлено, что по направлению к югу хребет Хьорт, лежащий в 2 тыс. м под морской поверхностью, постепенно расширяется; к юго-востоку от него обнаружена цепочка крупных подводных гор, скрытых 400-метровым слоем воды.

Впервые положен на карту южный сектор хребта Маккуори, протянувшийся по дну на 1600 км. Установлено, что Индо-Австралийская и Тихоокеанская плиты смещаются друг относительно друга со скоростью 3,8 см/год. Граница между плитами на севере выходит в район разлома Новозеландских Альп на о.Южном. На юг она простирается до сложной трансформно-хребтовой системы, лежащей к югу от тройственного сочленения плит.

Хребет Маккуори испытывает сдвиговые движения вдоль границы Антарктической плиты, но еще активней идет конвергентное взаимодействие плит в районе Хьортского желоба. Здесь, к северу от о.Маккуори, в 1989 г. произошло самое мощное на памяти человечества сдвиговое землетрясение, магнитуда которого достигала 8,2 по шкале Рихтера. При этом взаимодействии Индо-Австралийской плиты с Тихоокеанской привело к подъему океанической ко-

ры, созданию сложного по строению хребта Маккуори и формированию других резких черт топографии этого региона.

Официальные лица считают, что собранные экспедицией материалы о геологическом строении исследованного района дают достаточное основание, чтобы Австралия могла на международном уровне заявить о своих правах на 85 тыс. км² морского дна, лежащего в районе подводного хребта Маккуори, к югу от 200-мильной Исключительной экономической зоны.

Ausgeo. 2000. № 58. P.8 (Австралия); http://agso.gov.au/media/7_apr_2000.html phil.symonds@agso.gov.au.gordon.anderson@ea.gov.au.

Климатология

Гренландский ледник и климат Земли

Ледники Гренландии занимают после Антарктиды второе место по площади и массе заключенной в них воды; их поведение в значительной мере влияет на климат Земли. Сотрудники Центра космических полетов им.Годдарда НАСА США (штат Виргиния) и специалисты Центра полярных исследований им.Р.Бэрда при Университете штата Огайо в Колумбусе в 1994—1999 гг. (отличавшихся высокими средними температурами) регулярно проводили аэрофотосъемку и лазерную альтиметрию ледников Северной Гренландии. Полученные данные сопоставили, а затем сравнили с информацией, собранной ранее в южной части острова. Установлено, что ледяной покров в низменных областях Гренландии в результате таяния убывает; у побережья стаивание составляет примерно 1 м/год, а весь остров ежегодно теряет около 51 км³ льда. В высокогорных районах ситуация в целом практически стабильна: наблюдается даже некоторый рост ледяного покрова на юго-западе при не-

большом его истончении на юго-востоке¹.

Конечно, для глобального климатического прогноза недостаточно знания динамики Гренландского оледенения, так как оно составляет лишь 10% всего ледникового покрова Земли. Необходимо провести аналогичные измерения в Антарктиде, где сосредоточена основная масса льда.

Science. 2000. V.289. №5478. P.405, 426, 428 (США);

www.sciencemag.org/cgi/content/full/289/5478/404

Археология

В Риме найдены остатки портовых сооружений

При аварийных землярных работах в Трастевере — районе Рима, прилегающем к р.Тибр, группа археологов во главе с Ф.Каталли (F.Catalli) обнаружила остатки портовых сооружений времен Римской империи: галереи пакгаузов, конторские помещения, мастерские, бани (стены последних украшены мозаиками, изображающими сцены из жизни моряков), а также амфоры с монетами и жировые светильники. Порт прекратил существование после нашествия варваров в V в.

Британо-американская группа археологов, проводившая раскопки западнее этого места, на холме Яникулум, обнаружила построенные наспех, но все еще прочные стены, воздвигнутые между колоннами акведуков. По видимому, они должны были остановать готов во время их нашествия на Рим в 536—537 гг. Интересно отметить: стены устанавливались так, чтобы не лишать римлян возможности пользоваться водопроводом.

Archaeology. 2000. V.53. №3. P.20 (США).

¹ См.: Гренландские ледники «худеют» // Природа. 1998. №2. С.112; Динамика роста Гренландского ледника // Там же. №11. С.116.

Подарок геологам и филателистам

Ю.С.Бородаев,

кандидат геолого-минералогических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Более 150 лет тому назад в Англии была выпущена в обращение первая почтовая марка, и уже через десяток лет появились коллекционеры, собиравшие марки. Их называли филателистами. Сначала создавались коллекции марок со всего мира, благо их было не так уж много. Позже серьезные филателисты предпочитали коллекционировать марки одной или нескольких стран. В настоящее время из-за громадных эмиссий знаков почтовой оплаты и возросших цен на старые выпуски, что не позволяет достичь максимальной полноты коллекций, большее распространение получило тематическое коллекционирование. За основу берутся марки, отображающие единую тематику: искусство (живопись, архитектура, литература, театр, кино), спорт, естествознание, медицина, техника, космос и т.д.

Авторы книги с детства увлекаются марками. Вилен Изильевич Фельдман — доктор геолого-минералогических наук, специалист в области петрографии и петрологии магматических и метаморфических пород. Арон Григорьевич Кац — геологоразведчик, работавший во многих облас-

тях Сибири. Он участвовал в разведке и освоении месторождений редких металлов, платины, самоцветов. Высокий профессионализм позволил им собрать замечательные коллекции почтовых марок геологической тематики. Материал оказался настолько разнообразным и интересным, что побудил авторов к написанию книги. Они выбрали нетрадиционный путь: отказались от обычной формы каталога, в котором перечисляются определенным образом систематизированные марки с указанием страны, года выпуска и кратким описанием сюжета.

Книга выполнена в жанре очерков, посвященных миру геологии. Они мастерски написаны Фельдманом и иллюстрируются филателистическими материалами из коллекции Каца. Это отдельные марки различных стран, целые серии марок, квартблочки, художественные открытки, конверты и многие другие филателистические изыски. Свыше 800 иллюстраций размещены на 127 листах.

В результате получилась интересная, познавательная книга, прекрасно иллюстрированная. Текст очерков, естественно, продиктован имеющимся филателистическим



В.И.Фельдман, А.Г.Кац. Геология в филателии.

Пер. парал. текста на англ. И.А.Кубанцева, Б.А.Борисова, М.А.Аршиновой, А.С.Якубчука. М.: Земля, 2000. 484 с.

© Ю.С.Бородаев

материалом, весьма разнообразным.

Первый очерк посвящен истории развития геологии в России и богат фактическим материалом. Изображены советские марки и конверты, посвященные первым русским землепроходцам — И.Москвитину (1639—1653), В.Пояркову (1643—1646), Е.Хабарову (1649—1653), В.Берингу (1725—1741). В марках также отражена деятельность в развитии горного дела Петра I, промышленника А.Н.Демидова, ученого В.Н.Татищева. Есть много марок и конвертов со спецгашениями с портретами и скульптурами М.В.Ломоносова, а также с изображением различных научных учреждений России — Академии наук, Московского и Ленинградского университетов, Научно-исследовательского геологического института — и ученых-геологов, работавших там — А.П.Карпинского, В.А.Обручева, В.И.Вернадского и др.

Во втором очерке дается краткий обзор истории развития геологии и биологии, в частности палеонтологии и палеоботаники. Приводится целая галерея марок с портретами ученых — К.Линнея, Ч.Дарвина, К.Рулье, В.Ковалевского, Ж.Бюффона и др. Далее рассказывается о зарождении и развитии жизни, начиная самыми древними примитивными организмами и кончая человеком. На марках можно увидеть ископаемые папоротники, археоциат, трилобитов, кистеперых рыб, аммонитов, брахиопод, динозавров, птиц, млекопитающих (мастодонта, мамонта, саблезубого тигра и др.) и, наконец, наших пращуров — австралопитека, неандертальца, кроманьонца. Следует отметить, что все изображения помещены на марках самых разных государств — Великобритании, Кореи, Канады, Италии, Люксембурга, Словении, Швейцарии, бывшего СССР, Чехословакии, Венгрии,

Австралии, Намибии, Монголии, Кении, Эфиопии, Франции, Кубы.

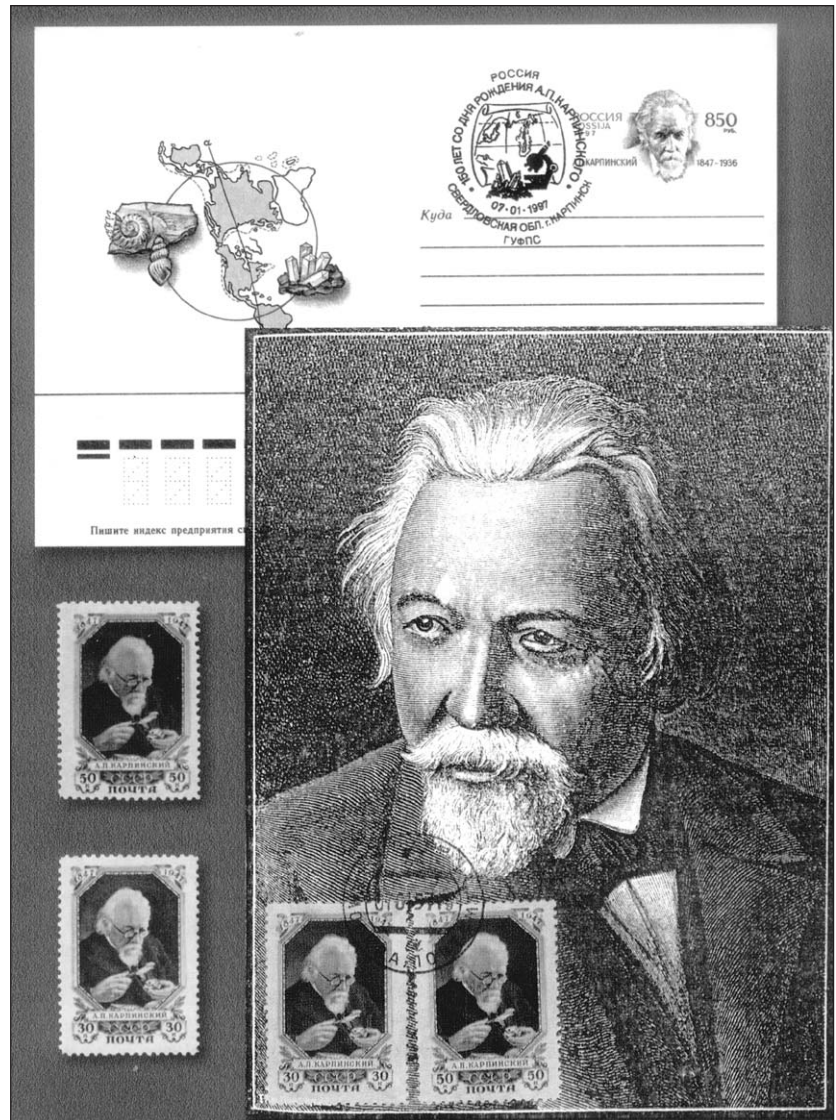
В следующем очерке повествуется о вулканах, их природе, месте в геологической структуре земной коры. Приводятся примеры и достаточно подробно описывается ряд извержений. Прежде всего — Везувия (марки Италии); вулканов Камчатки и Курильской гряды (отечественные марки и конверты), Фудзиямы (марки Японии) и, конечно, вулкана Гекла (марки Исландии). Катастрофическому извержению вулкана Мон-Пеле на о.Мартиника посвящены марки Франции. Словом, каждая страна, расположенная в «горячих» точках планеты, представлена своими вулканами. На марках изображены и давно потухшие вулканы — Арагат, Арагез, Казбек, Аю-Даг. В основном приводятся панорамные изображения вулканов, но нередко воспроизводятся также географические и геологические карты окружающей их местности (например, островов Кергелен, Сент-Винсент, Вознесения, Св.Елены, Каморских о-вов). На марках показано строение вулкана в разрезе (о.Тристан-да-Кунья), дана схема геологического разреза (Соломоновы о-ва), на которой показана приуроченность вулкана к зоне субдукции (поддвижения участка земной коры). Новая Зеландия выпустила почтовую открытку с картой этой островной страны и со схемой расположения тектонических разломов, землетрясений, молодых вулканов и гравитационных аномалий. Очерк завершается рассказом о феерическом явлении, сопровождающем вулканическую деятельность, — гейзерах. В момент максимальной активности мы видим их на марках СССР («Долина гейзеров» на Камчатке), Исландии («Большой Гейзер»), США (гейзер «Старый служака» в Йеллоустоун-

ском национальном парке), а также на марках и почтовых открытках Японии, Кении, Новой Зеландии и других стран.

Не менее красочное явление природы — водопады. Многие страны поместили их изображения на своих почтовых выпусках. Очерк «Гремящий дым — водопады» иллюстрируется марками России (водопады Северного Кавказа, Карелии, Эвенкии), Южной Родезии и Замбии (водопад «Виктория»).

В следующем очерке говорится о карстовых пещерах — настоящих подземных дворцах с причудливыми сводами, обрамленными сталактитами и сталагмитами, с подземными реками и озерами. Эти красоты нашли свое отражение на марках Австралии, Венгрии, Венесуэлы, Польши, Италии, ЮАР, Израиля и Японии.

Очень интересен шестой очерк, повествующий о поисках, разведке, эксплуатации и переработке полезных ископаемых; он богат фактическим материалом, прекрасно представленным в мире марок. Для поисков и разведки месторождений полезных ископаемых применяется множество методов. Это полевые геологические маршруты с молотком и компасом (показаны на марках СССР, Вьетнама, Китая), шлиховое опробование, или промывка шлиховых проб с помощью лотка (марки Канады, Колумбии, Гайаны, Суринама и Лесото), многообразные геофизические работы (на марках СССР) и, наконец, разведочное бурение (марки СССР, Туркменистана и др.). Далее рассказывается о природе и добыче различных видов полезных ископаемых. Прежде всего энергетического сырья — нефти, газа и угля. Показаны буровые вышки, а также морские нефте- и газоразведочные платформы (марки Азербайджана, Туркменистана, Великобритании,



Вьетнама, Новой Зеландии). Марка Чехословакии посвящена «колыбели атомного века» — Яхимовскому месторождению, в рудах которого был открыт уран. Специально выпущенной маркой отмечено 25-летие добычи урана в ЮАР.

Поиск и добыча алмазов, имеющих не только ювелирную ценность, но широко используемых в промышленности, показаны на марках ЮАР и Сьерра-Леоне, а также на советском художественном конверте (Айхальский алмазный рудник в Сибири). Многие марки посвящены месторождениям драгоценных ме-

таллов. Особенно интересны те из них, что приурочены к столетию открытия золота (Канада, Австралия, Калифорния, Свазиленд) и серебра (США). На них изображены портреты первооткрывателей, панорамы рудников и даже такие детали, как дорога на месторождение, проверка качества золота и лицензии на его добычу (марки Австралии), а также действия конной полиции, которая боролась за порядок с искателями золота на северо-западе Канады. На отдельных марках даны сюжеты, связанные с разработкой месторождений цинка (Намибия),

никеля (Новая Каледония), меди (Кипр), олова (Нигерия), бокситов (Суринам, Ямайка), а также каменной соли (месторождение Величка в Польше).

Все более ценным полезным ископаемым в последние годы становится обыкновенная питьевая вода, дефицит которой ощущается особенно остро. Для обсуждения вопросов сохранения и использования поверхностных и подземных вод созываются международные съезды гидрогеологов. Одному из таких съездов, проходившему в Италии под девизом «Проблема нашего времени — недостаток воды», был

приурочен выпуск конверта со спецгашением. Как серьезный резерв пресных вод сейчас рассматриваются ледники, изображения которых есть на марках Новой Зеландии, Аргентины и независимой территории Росс в Антарктиде.

Несомненное украшение книги — марки с разнообразными красочными минералами и горными породами. Им посвящен следующий, седьмой очерк. В начале обстоятельно рассказывается о минеральном царстве и об ученых, посвятивших себя его исследованиям. Изобразительный ряд начинается с многочисленных марок, вышедших в основном в Германии, с портретом великого немецкого поэта Иоганна Вольфганга Гёте, который уделял большое внимание геологии и минералогии, собрал громадную коллекцию пород и минералов (более 18 тыс. образцов) и опубликовал ряд статей. Здесь же приводятся художественные конверты с портретами выдающихся русских ученых — кристаллографа Н.В.Белова, геохимика А.П.Виноградова, минералогов Н.М.Федоровского и П.Н.Чирвинского. Далее сообщаются краткие сведения о многих минералах и породах, изображенных на марках различных стран. Поражает разнообразие форм кристаллов, сростков, их богатая цветовая гамма.

Первые марки с изображением минералов вышли в Швейцарии (1954—1961). Вслед за ними серия из шести марок появилась в СССР. На них мы видим топаз, яшму, аметист, изумруд, родонит и малахит, образцы которых добыты на рудниках России. Тогда многие страны стали уделять внимание данной тематике. На марках показывали простые минералы, а также драгоценные, полудрагоценные и поделочные камни. Среди них знаменитый алмаз «Шах» (марка СССР).

«Земля — планета Солнечной системы» — название следующего очерка. В нем достаточно подробно описаны история изучения Солнечной системы, гипотезы ее происхождения, кратко охарактеризовано строение всех планет и самого Солнца. В качестве иллюстраций приводятся марки и конверты с портретами ученых, занимавшихся проблемой возникновения Солнечной системы — Р.Декарта (Франция, Монако, Албания), П.-С.Лапласа (Франция), Г.Лейбница (Германия, Албания), Э.Канта (Германия) и О.Ю.Шмидта (СССР). Интересна венесуэльская серия марок, выпущенная в связи с десятилетием планетария «Гумбольдт»: на них изображены Солнце и все планеты. Кометы и метеориты нашли свое отражение на марках СССР (Тунгусский, Сихотэ-Алинский), Анголы, Намибии, Франции, Мадагаскара. В заключение — краткое описание исследовательской Земли из космоса. Этой теме посвящены многочисленные советские марки с портретами космонавтов и изображениями космических аппаратов, а также почтовые эмиссии, связанные с высадкой американцев на Луну (марки США, Болгарии, Нигера, Того и других стран). Для более полного познания геологии Земли и ее происхождения имеют большое значение исследования других планет при помощи космических аппаратов. В марках нашли отражение успехи изучения Луны (марки СССР, США, Монголии) и Венеры (СССР, Гана, Чад). Одна советская марка посвящена международному космическому проекту «Фобос».

Экологические проблемы, возникшие в результате влияния техногенных и геологических процессов на среду обитания человечества, — тема следующего, девятого очерка. В СССР была выпущена серия марок, предупреждавших о не-

избежности экологической катастрофы в связи с вырубкой лесов и бесконтрольным использованием озер и рек.

Международному сотрудничеству геологов посвящен заключительный очерк. Наиболее представительны Международные геологические конгрессы (МГК). Первый состоялся в Париже в 1878 г., последний — в Рио-де-Жанейро в 2000 г. Россия принимала участников Конгресса трижды — в 1897, 1937 и 1984 гг. В 1910 г. Швеция впервые выпустила почтовую марку к XVII конгрессу, с тех пор это стало традицией. К каждой сессии выпускались марки, блоки, сувенирные конверты и открытки, проводились спецгашения. Так, в Чехословакии, СССР и США вышли в свет открытки с изображениями геологических карт каждой из этих стран. На марках, посвященных сессиям МКГ, обычно даются геологические сюжеты. Например, застывший поток лавы на марке Алжира, аммониты (Алжир, Чехословакия, Франция), приполированный штупф агата (Чехословакия), геологические разрезы (Канада) и т.п. Почтовыми эмиссиями отмечались и другие международные собрания, но уже регионального плана — конгресс Карпато-Балканской ассоциации в СССР и Болгарии, Тихоокеанские научные конгрессы в СССР и Японии, Латиноамериканский геологический конгресс в островном государстве Тринидад и Тобаго. Конгрессы ученых отдельных специальностей (геохимиков, кристаллографов, металлогенистов и др.) отметили выпуском марок и конвертов СССР, США, Греция, Португалия. Проведению и итогам Международного геофизического года посвятили свои марки СССР, США, Норвегия, Япония, Аргентина, ГДР, Венгрия. В исследовании Антарктиды сегодня принимают участие 12 стран. Поэтому вышло боль-

шое количество филателистического материала, в котором отражены геологическое строение этого материка, ледниковые ландшафты, работа полярников (марки СССР, Японии, Аргентины, Новой Зеландии, Австралии, Бразилии, Великобритании).

В мире к настоящему времени выпущено более 5 тыс. марок, сюжетно связанных с геологией. Естественно, в одной книге невозможно было отразить весь этот богатый материал. Тем не менее следует отметить некоторые просчеты. Так, отсутствуют марки с портретом выдающегося русского минералога академика А.Е.Ферсмана. Хотелось увидеть почтовые открытки, посвященные исследователям минералов, жившим в средние века на территории Средней Азии, таким как аль-Бируни и Ибн Сина (Авиценна). Их имена упомянуты в книге. Можно было бы сократить большое количество довольно однотипных иллюстраций с портретами Гёте (они занимают целую страницу и представлены 16 номерами). Несомненным упущением стало отсутствие в очерке «Земля — планета Солнечной системы» марок, приуроченных к запуску первого спутника Земли и полету Ю.Гагарина. Рассказ об исследованиях в Антарктиде несомненно украсил бы треугольный блок 1966 г. с картой этого континента. Блок посвящен 10-летию советских исследований Южного континента и созданию в СССР первого Атласа Антарктиды. И последнее замечание — логичнее было бы поместить очерк о минералах и горных породах перед очерком о поисках и добыче полезных ископаемых. Все эти недостатки отнюдь не умаляют значения книги.

Все очерки написаны живым языком, высокопрофессионально и будут интересны как специалистам-геологам,



Археоптерикс (ГДР, Мали, Польша, Румыния). Гесперорнис (Лаос). Дронт (Лаос). Моа (Лаос, Йемен). Динорнис (Лаос, Мадагаскар). Орел (Куба).

так и непрофессионалам. Можно предположить, что филателистический материал книги многих, в том числе и геологов, подтолкнет к тематическому коллекционированию почтовых марок. Это и увлекательно, и познавательно одновременно. В заключение следует отметить, что издание

прекрасно выполнено полиграфически, на хорошей бумаге, цветовая гамма марок передана почти безупречно. Несомненным достоинством книги стал параллельный перевод текста очерков и подписей к иллюстрациям на английский язык, что значительно расширит круг читателей. ■

Естествознание

РОССИЙСКАЯ НАУКА: ГРАНИ ТВОРЧЕСТВА НА ГРАНИ ВЕКОВ / Под ред. В.П.Скулачева; Отв. ред. А.В.Бялко. М.: Научный мир – Природа, 2000. 472 с.

Вышел сборник научно-популярных статей российских ученых, поддержанных грантами РФФИ. Российский фонд фундаментальных исследований сыграл огромную роль в судьбе российской науки на переломном этапе нашей истории. Он не только оказал материальную поддержку ученым России, но и стал своего рода ликбезом в непростом деле конкуренции за гранты. С годами его успешная деятельность множится все новыми начинаниями, одно из которых – конкурс научно-популярных статей.

В конкурсе 1999 г. участвовало 162 работы. Из них 47 вышли победителями и опубликованы в сборнике. В нем представлены как естественные, так и гуманитарные науки: математика, физика, химия, биология, геология, социология, экономика, история и т.д. Все статьи подготовлены и отредактированы сотрудниками журнала «Природа».

Геохимия

М.В.Борисов. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЖИЛЬНОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ. М.: Научный мир, 2000. 360 с.

Реконструкция условий и механизмов гидротермального рудообразования, физико-химических процессов, происходивших при формировании гидротермальных месторождений, – важнейшая фундаментальная и прикладная проблема геохимии.

В книге сделана попытка систематизировать результаты исследований по данному во-

просу. В первой части рассмотрены методы оценки состава растворов, термодинамическая основа моделей и др. Во второй описаны модели формирования месторождений в изотермических условиях или близких к ним (на примере жильных месторождений урана). В третьей – модели рудообразования в термо- и бароградиентных условиях, характерных для среднетемпературных Pb-Zn месторождений. Для решения поставленных задач использованы два основных подхода: геохимический и термодинамический.

Основными объектами, для которых построено большинство рассматриваемых моделей, стали свинцово-цинковые месторождения полиметаллической жильной рудной формации и урановые. Исследования первых автор проводил в Северной Осетии в течение восьми полевых сезонов (1991-1999), руководя отрядом студентов и аспирантов кафедры геохимии Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова.

На обложке – образец кварцевой жилы с анкеритом, сфалеритом, халькопиритом из месторождения Джеламбет. Коллекция Э.М.Спиридонова.

Гидроклиматология

ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ (КЛИМАТ И ВОДНЫЙ РЕЖИМ) / Отв. ред. Н.С.Касимов. М.: Научный мир, 2000. 304 с.

С целью всестороннего обсуждения глобальных изменений по инициативе ряда общественных организаций и институтов на географическом факультете Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова в 1997 г. начал действовать Межведомственный научный семинар «Глобальные изменения природной среды».

В течение трех лет было заслушано и обсуждено 19 докладов и 35 сообщений по различным проблемам, касающимся влияния гелиокосмических факторов на природные процессы. Это – многолетние колебания климата и режима гидросферы, преобразование поверхности, использование природных ресурсов мира и отдельных регионов.

Обсуждались участвовавшие за последнее время стихийные бедствия, влияние потепления климата на ландшафты Земли, и в особенности на режим геокриолитозоны.

Основой книги послужили доклады, сделанные на семинаре известными учеными, и в том числе А.Л.Яншиным, В.М.Котляковым, А.П.Капицей, А.С.Мониним, Е.Е.Милановским и др.

История науки. Физика

В.В.Низовцев. ВРЕМЯ И МЕСТО ФИЗИКИ XX ВЕКА. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 208 с.

XX век, подаривший человечеству квантово-релятивистскую физику, закончился. Это обстоятельство определило и юбилейный характер издания, и его тему: рассмотрение историко-культурного контекста новой науки.

В книге говорится о месте физики в истории культуры, проведен лексический анализ некоторых физических текстов, сопоставлены доктрины и методология современной физики и науки прошлого. Автор высказывает мнение о путях эволюции физического знания в следующем столетии.

В оформлении обложки использован фрагмент росписи на вазе «Дионис, ведущий шествие», ок. 500 г. до н.э.

История науки. Горное дело

К.Г.Стафеев. ВЕЩЕСТВЕННЫЕ СВИДЕТЕЛИ ИСТОРИИ ГОРНОГО ДЕЛА И ГЕОЛОГИИ В РОССИИ / Под ред. Б.А.Яцкевича. М.: ИТАР-ТАСС, 2000. 159 с.

Книга посвящена особой категории исторических памятников горной геологии – предметам нумизматики и фалеристики: медалям, жетонам, нагрудным знакам и значкам. Выпуск большинства медалей и нагрудных знаков в Российской Империи, как позднее в Советском Союзе, имел официальный характер. Они разрабатывались горным ведомством и другими организациями и утверждались верховной властью.

Появление первых нумизматических памятников горно-геологической тематики датируется второй половиной XVIII в. Сюда можно отнести медали в честь президента Берг-коллегии, жетоны для студентов и преподавателей Горного училища – Первой высшей горной школы в России, а затем – Кадетского горного корпуса. Тогда на памятных медалях и знаках воспроизводились атрибуты времени: водяные насосы, паровые машины, колеса, одежда мастеровых и чиновников.

В XIX в. тематика расширилась. Появились памятные, наградные и юбилейные медали в честь геологических экспедиций, открытия новых месторождений и рудников, горных заводов, а также выдающихся деятелей горной науки. С 1866 г. стали изготавливать первые нагрудные знаки горным инженерам, знаки соляного дела, жетоны для акционерных горнопромышленных обществ.

До революции нагрудные знаки выпускались в двух вариантах – большие для парадного мундира и малые, так называемые

малые фрачные. Их делали из золота и серебра. Позднее, в советское время, появился термин «значок», многие из которых делали из драгоценных и цветных металлов. И лишь в последние годы такие значки штампуют из алюминия.

Книга построена в виде серии исторических очерков, расположенных в хронологической последовательности. Каждый очерк отражает определенный этап истории горной геологии и иллюстрируется изображением медалей, нагрудных знаков, карт и другими рисунками.

В книге учтено не менее 70 % всех наградных медалей и знаков по горному делу и геологии, а их общее количество автор оценивает в 10-15 тыс.

История науки

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАРТОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ (к 60-летию профессора С.Н.Сербенюка) / Под ред. А.М.Берлянта и О.Р.Мусина. М.: Научный мир, 2000. 192 с.

Профессор географического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова Сергей Николаевич Сербенюк (1940-1990) прожил очень короткую, но яркую творческую жизнь. Он внес значительный вклад в развитие автоматизации в картографии и внедрение геоинформатики в науку и образование. В сборнике, посвященном его памяти, подчеркивается преемственность идеи органического и нерасторжимого единства двух наук – картографии и геоинформатики.

Большинство авторов книги – люди, близко знавшие Сергея Николаевича, его коллеги по работе, ученики и последователи. Их рассказ о его научных результатах часто переплетается с личными воспоминаниями.

Первый раздел посвящен становлению геоинформатики. Во втором рассказано о проблеме внедрения и использования опыта традиционной картографии в новых технологиях. В третьем собраны статьи по проблемам геоинформационного картографирования в области геоэкологии, ставшей одной из приоритетных областей естествознания.

История науки

Л.М.Свердлов. ТАЙМЫРСКАЯ ЗАГАДКА / Отв. ред. А.К.Станюкович. М.: ООО «Арго», 2001. 147 с.

В 1940 и 1941 гг. у северо-восточного побережья Таймырского п-ова, на о.Фаддея и в заливе Симса, гидрографы обнаружили следы пребывания в начале XVII в. русских мореходов.

Таймырские находки существенно изменили представление об уровне русского арктического мореплавания, но так и не дали ответов на многие вопросы, связанные с загадочным плаванием вокруг мыса Челюскин.

Автор предлагает свой взгляд на историю этого значительного события.

В процессе исследования им было уточнено время, определены маршрут и конечная цель торгово-промышленной экспедиции поморов. Найдены интересные сведения о том, когда русские впервые узнали о р.Лене и как это повлияло на государственную политику освоения Сибири в 20-х годах 17-го столетия.

Шпицбергенские, сибирские и дальневосточные находки в значительной степени перекликаются с таймырскими. Немало интересного дали и находки монетных кладов. Ведь археологическое исследование, проведенное на современном уровне, обладает точностью криминалистической экспертизы.

О геологе Наталье Кинд

В.А.Баскина,

доктор геолого-минералогических наук
Москва

Далеко не каждому геологу выпадает редкое счастье, используя знания и опыт, предугадать, где должно располагаться месторождение, и обнаружить его в предсказанном месте. Особенно если открытое «на кончике пера» месторождение по типу, запасам, качеству сырья принадлежит к единственному в мире, крупнейшим, уникальным. Такое счастье выпало Наталье Владимировне Кинд, открывшей первое в Якутии и одно из крупнейших алмазных месторождений — трубку «Мир». Находку коренных алмазов называли в прессе открытием века.

Однако имя первооткрывательницы десятилетиями замалчивалось, а награды, почести и материальные выгоды получили другие.

Весной 1955 г. геолог Наталья Владимировна Кинд, начальник тематической партии №132, составила прогнозную карту, где были обозначены два предполагаемых ею места нахождения коренных алмазов в бассейне р.Малой Ботуобии. Копии она отдала сотрудникам — выехавшим первыми к месту полевых работ. Уже через три дня после высадки в тайге, 13 июня 1955 г., прорабы Е.Елагина и Ю.Хабардин нашли кимберли-

ты из трубки, ставшей потом знаменитой. В сентябре по тайге, прокладывая дорогу, прошел первый трактор. Вскоре возле трубки поставили бревенчатый дом — первый дом будущего города Мирный. Новое месторождение 45 лет кормило город, Якутию, Россию. На итоговом совещании Амакинской экспедиции постановили: «Вопрос о сырьевой базе для отечественной алмазодобывающей промышленности разрешен окончательно, с 1956 г. в Вилюйском бассейне можно приступить к промышленной эксплуатации».

В 1957 г. за открытие промышленного месторождения алмазов в Якутской ССР были присуждены Государственные премии и вручены ордена Ленина руководителям отрасли, экспедиции, геологам, в их числе Г.Х.Файнштейну и Ю.И.Хабардину. Первооткрывательницы единственного тогда подобного месторождения Кинд и Елагина не только не получили наград, но и были уволены из экспедиции. Многие десятилетия их имена не упоминались. Поскольку алмазная тема оставалась сверхсекретной, истину знали только их близкие.

Сама Кинд написала о своем открытии только 30 лет спустя: «Находка алмазов на р.Ирелях, а также прослеживающаяся связь между тектоническим строени-

ем района и местами находок пиропов во время обработки полевых материалов позволили мне составить первую «карту прогноза» и выделить на ней два участка предполагаемых местонахождений кимберлитов. На одном из них летом 1955 г. была открыта знаменитая кимберлитовая трубка «Мир», на другом, спустя годы, геофизики открыли кимберлитовую трубку «Интернациональная» [1]. Ни тогда, ни после она не написала о другом: когда поиски коренных алмазов в Якутии зашли в тупик, когда ведущий геолог Амакинской экспедиции Файнштейн не уставал повторять, что «кимберлиты — это выдумка космополитов» и что якутские алмазы вымываются из траппов, тогда ведущий специалист российской алмазной геологии А.П.Буров поручил именно Кинд создать и возглавить геологическую партию для обобщения всех собранных к тому времени данных по Вилюю и выработки разумной стратегии поисков. Выбор не был случайным. Ум, опыт, эрудиция, настойчивость Натальи Владимировны высоко оценивались коллегами. В алмазной экспедиции на Урале Кинд начала работать еще до войны, вскоре после окончания Ленинградского университета. По ее прогнозам в бассейне р.Чусовой был найден ряд про-

мышленных россыпей, в 1950 г. она защитила первую по алмазной тематике кандидатскую диссертацию. Именно на Урале сложился коллектив геологов-алмазников:

И.И.Краснов,
А.П.Буров, М.А.Гневушев,
Н.Н.Сарсадских, В.С.Трофимов и
Н.В.Кинд. Они перенесли свои исследования в Якутию, что в значительной мере обеспечило успех в поиске алмазов.

В 1959 г. Кинд поступила на работу в Геологический институт Академии наук. Она поставила перед собой задачи: создать новую лабораторию радиоуглеродного датирования, изучить четвертичную геологию Русского Севера. Кинд много работала в поле. Ее экспедиции охватывали низовья рек Лены и Енисея, ей довелось вернуться в Якутию и на Вилюй. Радиоуглеродный метод позволил детально датировать отложения, связанные со стадиями последних оледенений Сибири. Исследования Кинд и ее сотрудников легли в основу стратиграфического расчленения антропогена Сибири — схемы, использовавшейся геологами до последнего времени. Она постоянно публиковала новые результаты, выступала на совещаниях. Имя Кинд получило международную известность. Раньше многих своих коллег она стала выезжать за рубеж. Этому способствовало все: брак с И.Д.Рожанским (в те годы сотрудником ЮНЕСКО), год, проведенный с семьей в Париже (1962—1963), свободное владение европейскими языками. Коллег поражала масса собранных ею новых геологических данных, подкупали красноречие и убежденность, талант вести острую, но доброжелательную дискуссию. Лучшего «полпреда» русской науки трудно было бы представить. Сохранились воспоминания американского профессора Дэвида Хопкинса о первом симпозиуме по Берингии, проходившем в 1965 г. в Боулдере (штат Колорадо), куда была приглашена Кинд. «Я вспоминаю конгресс ИНКВА в Боулдере



Н.В.Кинд. 40-е годы. Из личного архива Е.Н.Елагиной.

как время золотых осенних денечков, бутербродов под тенистыми деревьями, бесконечных разговоров с моими новыми русскими друзьями. Высокая, красивая, золотоволосая, изящно одетая женщина, которую звали Кинд, произвела неизгладимое впечатление на меня и моих приятелей-американцев. Мой первый трехмесячный ви-

зит в Россию в 1969 г. был важным поворотным пунктом в моей собственной жизни. <...> Именно в России я научился работать с женщинами, как с равными, без усталости вести научные споры и ходить вместе на концерты, в театры. Наташа Кинд начала мое перевоспитание в Боулдере в 1965 г. и продолжила его в 1969 г.»

Разработанный с активным участием Кинд новый метод изотопных датировок, обобщение ею первых собранных данных привели к выводам, которые подтвердились многие годы спустя, по мере того как развивались исследования четвертичной геологии Сибири. Она опубликовала по результатам этих исследований более ста работ, защитила в 1971 г. докторскую диссертацию, изданную позднее в виде монографии «Геохронология позднего антропогена по изотопным данным» и удостоенную премии Московского общества испытателей природы. Участница и докладчица союзных и международных совещаний, Кинд в разные годы входила в руководство комиссий по определению возраста геологических формаций, была одним из авторов международного проекта «Четвертичные оледенения Северного полушария», участвовала в работе международной ассоциации по изучению четвертичного периода и других научных объединений. Так Кинд сумела прожить вторую после алмазной, успешную, блестящую жизнь в геологии.

Но была и другая жизнь. Дом семьи Рожанских надолго стал центром притяжения интеллектуальной элиты Москвы. Когда окончилась короткая «оттепель» и снова оказалась под угрозой судьба замечательных произведений и их авторов, Кинд не осталась в стороне. Все больше сил она отдавала попавшим в беду или нуждающимся в помощи людям. В 1967 г. она писала одному из ближайших друзей семьи Льву Копелеву: «Я давно пришла к заключению, что добро к людям в миллион раз умнее, чем тысяча страниц так называемых научных трудов». Вместе с другими — А.Ахматовой, Л.Чуковской, Ф.Вигдоровой — Кинд и Рожанский выступили в защиту осужденного за «тунеядство» И.Бродского и подписали телеграмму протеста, направленную в Ленинградский обком партии.

Квартира Кинд стала надежным убежищем рукописей А.Солженицына. Наталья Владимировна не только была первым читателем «Архипелага ГУЛАГ», но помогала переправлять рукописи писателя на Запад. Солженицын с благодарностью вспоминал об этом: «Для нас важно было — тверда, верна и квартира ее чистая. А значит, можно встречи устраивать у нее с иностранцами. Последние, темно-грозные месяцы на родине она нередко бывала у нас, все более становясь родной, много раз бывала у Али после моей высылки. Когда я уже был на Западе — обменивался рукописями с Шафаревичем через нее. Не все соотечественники наши будут понимать, какая решимость требовалась тогда, чтобы включиться в канал» [2].

Кинд переправила на Запад «Колымские рассказы» В.Шаламова. Благодаря ей проза Шаламова дошла до русского и европейского читателей еще при жизни автора. Она же на 40-й день после смерти писателя устроила у себя вечер его памяти.

Когда в Москву из ссылки и скитаний вернулась Н.Я.Мандельштам, Кинд стала ей близким человеком, другом и помощницей. Надежда Яковлевна писала о Наталье Владимировне: «Живется ей трудно, но в ней есть какое-то высокое благородство, не позволяющее ей жить легче. Мне она на редкость мила и нужна».

В 1956 г. Кинд подружилась с Натальей Ивановной Столяровой*. Душевный и жизненный опыт старшей подруги, ее эрудиция, человеческие связи, трагическая судьба влияли на формирование интересов и настроений Натальи Владимировны, все более вовлекая ее в дела русских диссидентов. Позже, когда в Москве на отчислении от изданий «Архипелага», при энергичном участии Столяровой, был

* Дочь политэмигрантки, любовь поэта Б.Поплавского, вернувшаяся в СССР в 1934 г., стала многолетней узницей ГУЛАГа, затем правозащитницей.

создан Фонд помощи политзаключенным, Кинд стала его постоянным и надежным негласным работником. До самой смерти Столяровой (1984) две Натальи были неразлучны. Их появление — немолодых, но элегантных, блестящих, красивых, смелых, остроумных — всюду вносило громадный заряд энергии.

Родители Кинд и Рожанского были профессорами Петербургского политехнического института. В академическом пос.Лесное завязалась их дружба с крупными учеными А.Иоффе, А.Александровым, С.Вавиловым, Н.Семеновым, И.Виноградовым. Своей подруге Наталья Владимировна как-то сказала «Среди моих друзей, оказывается, девять лауреатов Нобелевской премии».

Кинд принадлежала к древу русской интеллигенции, уходящему корнями в серебряный век и объединившему представителей нескольких поколений. Воспитанные с детства уважение к себе и другим, стиль общения, внутренняя свобода, эрудиция и в еще большей мере личные качества — насмешливый и острый ум, открытость, доброта, дружелюбие до последних дней ее жизни восхищали людей. Она была очень близка со Львом Копелевым, с Мариной Баранович — давним другом Бориса Пастернака. Физик М.Поливанов и другие молодые друзья Пастернака — В.Иванов, К.Богатырев — были и для Кинд близкими людьми. Анна Ахматова, приезжая в Москву, любила бывать у Кинд.

Копелев вспоминал, что по четвергам у Натальи Владимировны собирались слушать музыку — записи вещей, не исполнявшихся в те годы: многие там впервые слышали Стравинского, Шенберга. Он писал: «Дом, где сейчас живут ее дочь и внуки, был для многих наших друзей и для меня одним из очагов неугасимой духовной жизни в годы застоя. Благодаря таким очагам сохранялся и вопреки

всем бедам плодотворил живой дух русской культуры. Наталья Владимировна Кинд была его олицетворением» [3].

Там был впервые записан на пленку голос Ахматовой — поэма «Реквием», главы из «Поэмы без героя», монолог о Н.Н.Пушкиной, многие неизданные еще стихи — например «Привольем пахнет дикий мед» [4].

Там читали и записывали свои новые произведения А.Галич, И.Бродский, Н.Коржавин, Д.Самойлов, Г.Бёлль, М.Фриш, П.Неруда. Для многих из них притягательными были именно дружба с хозяйкой, ее ум и обаяние. В круг ее общения входили Е. и Л.Чуковские, Н.Глен, Е.Левитин, Д.Борисов, Б.Михайлов. В доме бывали А.Сахаров, А.Мень, Н.Берберова, Г.Айги, В.Корнилов, Ю.Домбровский, Б.Окуджава.

Копелев писал: «Она была неподдельно скромна и даже застенчива. О ее воистину подвижнической, даже героической работе в дальних экспедициях, о том, что именно она вычислила и очертила район, где надо искать алмазы, мне рассказали ее подруги. Она же вспоминала только смешные или занятные приключения. Когда приятели, гости с нею об этом заговаривали — она предпочитала отшучиваться: “Как же, озолотили нас... Открыли — и на том спасибо!”»

Конечно, это была не только скромность. На мой вопрос, почему Наталья Владимировна не боролась за признание своего открытия, Екатерина Елагина, ее близкий друг и соратница, сказала: «Она была очень гордой. Гордость не позволяла ей вспоминать о своем непризнанном открытии. “Нет — так нет!” Только раз, помню, мы ехали в театр. Был 1957 год, массажи награждали алмазников. Она меня спросила по дороге — “Катя, догадайся, кого **не** наградили?” Я сразу сказала — нас. Так оно и было — многие десятки людей получили тогда награды, а нас, открывших это промыш-

ленное месторождение, “забыли”. Больше мы к этому не возвращались».

Однако с годами история открытия алмазов привлекала все большее внимание публики и журналистов, и увенчанные лаврами мужчины не стеснялись в похвалах себе, в замалчивании и прямом искажении истины [5, 6]. Например, М.М.Одинцов написал: «В 1955 г. на р.М.Ботуобия партия Файнштейна открыла трубку “Мир”» [7]. Это — небылица. Сам Файнштейн, будучи редактором книги Одинцова, знал, что написанное там — неправда, но не комментировал это.

К счастью, Елагина не желала с этим мириться. Она писала [8] и рассказывала о вилуйской эпопее, о роли Натальи Владимировны, благодаря чему в специальной литературе все чаще последние годы начали упоминать Кинд как главную героиню открытия не только трубки “Мир”, но и богатейшей малоботуобинской алмазоносной провинции [9]. «“Мир” — уникальнейшее месторождение алмазов, не имеющее себе равного в мире. Главенствующая роль в его открытии принадлежит Н.В.Кинд» [10].

Готовится к печати книга воспоминаний Елагиной о работе геологов в годы открытия коренных алмазных месторождений Якутии (1952—1955). Очень личная, живая, образная, она читается захлеб. На мой взгляд, этот текст может стать прекрасным материалом для киносценария. Отличная память, наблюдательность, дружелюбие, юмор, точное чувство детали позволили ей нарисовать человеческие судьбы, воссоздать неповторимые характеры окружавших ее в те годы людей. Таковы, в частности, творческие портреты Кинд и тесно связанных с нею по работе Н.А.Бобкова, А.П.Бурова, Л.А.Попугаевой. Кажется, никто и нигде еще не писал об этих людях и событиях так емко, глубоко и благодарно.

О Наталье Кинд и ее роли в рождении и судьбе Мирного его жители узнали впервые в 1974 г., когда в праздничной программе по случаю юбилея города была показана сделанная местным тележурналистом запись выступления Кинд и Елагиной. В 81-м по инициативе редактора одной из якутских газет, С.П.Сальниковой, городское начальство пригласило Кинд, оплатив ее проезд, в Мирный, и она участвовала в вечере, посвященном встрече геологов — первооткрывателей якутских алмазов. После этого она еще дважды посетила Мирный. Осенью 85-го ленинградские документалисты сняли в Якутии фильм об истории открытия трубок. В 87-м, в 70-летний юбилей Кинд, журналист А.Ливанская в Москве сделала о ней телепередачу в рубрике «Ровесники Октября». Еще одна телепередача, о Кинд и Шаламове, вышла незадолго до смерти Натальи Владимировны, осенью 92-го.

Со временем в жизни Кинд становилось все больше потерь и драм. Приходилось для заработка реферировать груды научных публикаций. В 1986 г. доктора наук Кинд, блестящего знатока своего дела, отправили на пенсию. Реже собирались в ее доме застолья — маленьким внукам нужна была тишина и покой. Наталья Владимировна изменилась внешне. Ее легендарная элегантность уступила место «неслышанной простоте». Но, по словам друзей, как бы она ни выглядела для посторонних, она оставалась блистательной, умницей, всеми любимой, человеком с широчайшим кругом общения. После того как многие метры литературных и диссидентских кружков умерли или разъехались, в Москве все же сохранился круг тесно связанных и постоянно общавшихся людей искусства и культуры. Кинд в этом кругу любила, очень любила, ее приход был всегда событием и радостью.

Все, кто общался, работал, дружил с Кинд, сохраняют и передадут потомкам память о ней. Большой массив документов, писем, заметок хранит ее дочь Н.И.Рожанская. К этому архиву все чаще обращаются журналисты. Люди, общавшиеся с Кинд на гребне диссидентской волны, вспоминают о ней и сейчас с благодарностью и радостью. Н.Д.Солженицына сказала мне: «Мы нежно ее любим. Она была необыкновенным человеком». Для Коржавина, после 25 лет эмиграции, она осталась Натой Кинд — «обаятельнейшей, умницей, душой близкого дома».

Наталья Владимировна Кинд родилась 8 июля 1917 г. в Петро-

граде, умерла 13 февраля 1992 г. в Петербурге. К.Симонов писал: «Мы измеряем жизнь не днями жизни, а часами дружбы». По этому счету она жила необыкновенно долго. Своих воспоминаний Кинд не оставила.

Единственной наградой Кинд за «открытие века» стал нагрудный знак первооткрывателя. В любой другой стране этой женщине давно бы поставили памятник. Думаю, необходимо сейчас, пусть поздно, посмертно вернуть ей неданное, отнятое — известность и славу первооткрывателя, звание лауреата, ордена, премии. Не все разделяют такую точку зрения. Приведу высказывания начальника Амакинской экспедиции:

«У меня нет желания останавливаться на истории открытий. Все, что можно, уже перемолото до полной трухи. История открытий канула в вечность, бог с ней и вечный ей покой. Можно до потери здравого смысла тащить несколько десятков фамилий, спорить до хрипоты о «личном вкладе»» [11].

Не спорить надо об этом, а по заслугам и справедливости оценить тот вклад. Это нужно уже не Кинд, это нужно всем нам.

Автор благодарит за поддержку Фонд Джона и Кэтрин Макартуров (раздел инициативных проектов); за предоставленные материалы — Е.Н.Елагину и Н.И.Рожанскую. ■

Литература

1. Кинд Н.В. // Химия и жизнь. 1987. №1. С.56—57.
2. Солженицын А. Бодался теленок с дубом. Париж, 1975.
3. Орлова Р., Копелев Л. Мы жили в Москве. 1988.
4. Чуковская Л. Записки об Анне Ахматовой. М., 1997.
5. Файнштейн Г.Х. // Люди и алмазы. Якутск, 1984.
6. Хабардин Ю.И. Путь к алмазной трубке. Якутск, 1994.
7. Одинцов М.М. По Восточной Сибири в геологических партиях. Иркутск, 1981.
8. Елагина Е.Н. //Химия и жизнь. 1987. №1. С.58—61.
9. Елисеев В.И. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1994. С.92—112.
10. Харьков А.Д. и др. История алмаза. М., 1997.
11. Мишенин С. // Виллойские зори. 2000. №4. С.6.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы

О.О.АСТАХОВА

Л.П.БЕЛЯНОВА

Е.Е.БУШУЕВА

М.Ю.ЗУБРЕВА

Г.В.КОРОТКЕВИЧ

К.Л.СОРОКИНА

Н.В.УЛЬЯНОВА

Н.В.УСПЕНСКАЯ

О.И.ШУТОВА

Литературный редактор

М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор

Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией

И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор

Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:

П.А.ХОМЯКОВ

Набор:

Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры

В.А.ЕРМОЛАЕВА

Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:

Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредители:

Президиум РАН,
Издательско-производственное и
книготорговое объединение
«Наука»

Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77

Факс: (095) 238-26-33
Подписано в печать 11.05.2001

Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 2176

Набрано и сверстано в редакции

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