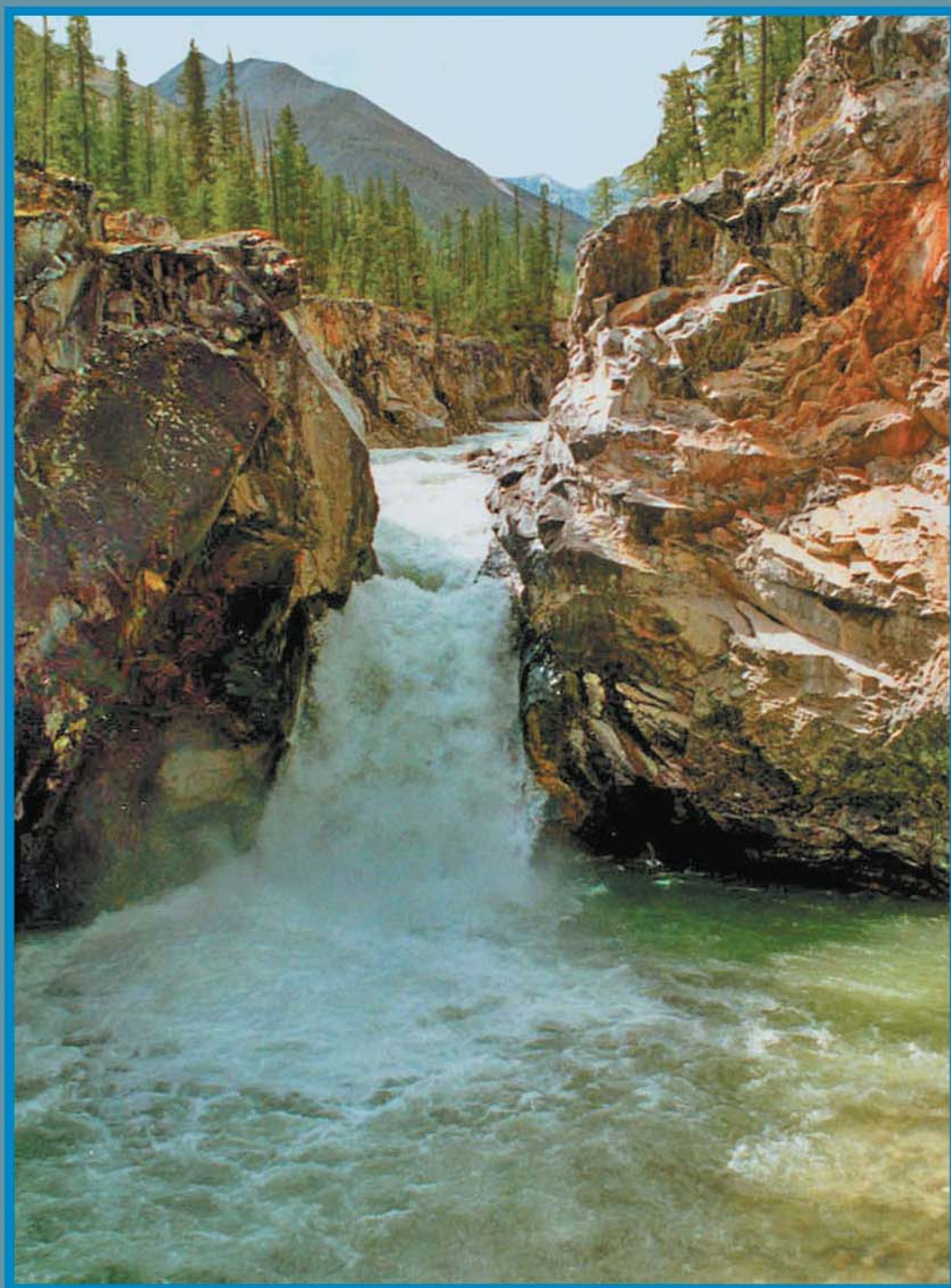


# **ПРИРОДА**

**7 05**



**В НОМЕРЕ:****3 Болдырев А.А.****Нейрональные рецепторы в клетках иммунной системы**

Специфические рецепторы нервных клеток, обнаруженные недавно в лимфоцитах, служат весомым доказательством реальной связи между нервной и иммунной системами в организме.

**9 Акципетров О.А.****Старая история в новом свете: вторая гармоника исследует поверхность**

Долгое время при исследовании поверхности твердых тел нелинейная оптика играла весьма скромную роль. Но когда стали доступны фемтосекундные твердотельные лазеры, ситуация кардинально изменилась.

**18 Розен М.****Создание биологического водителя ритма сердца**

Даже самые современные электрокардиостимуляторы, к сожалению, несовершенны. Есть все основания надеяться, что вскоре одни из серьезнейших сердечных недугов — аритмии — можно будет лечить с помощью генной или клеточной терапии.

**25 Леин А.Ю., Саввичев А.С., Лейбман М.О., Передня Д.Д.****Ледовая летопись: пример расшифровки с помощью изотопных трассеров**

Зная изотопный состав серы и углерода во льдах, можно ответить на ряд вопросов об их происхождении и оценить долю антропогенной серы в составе современных снежников.

**35 Недоспасов А.А., Беда Н.В.****Биогенные оксиды азота**

Детальное изучение метаболизма оксидов азота привело к открытию мицеллярного катализа. Это позволило пересмотреть представления об участии этих соединений в обмене веществ млекопитающих и о возможном влиянии на их метаболизм в норме и при различных патологиях.

**43 Щетников А.А., Филинов И.А.****Водопады Юго-Западного Прибайкалья****46 Спиридонов Э.М.****Степняцкие гипергенные яшмы Северного Казахстана****48 Трепет С.А.****Горный зубр**

Сформировавшаяся в Кавказском заповеднике популяция горного зубра — пример наиболее успешной адаптации восстановленных зубров к среде исторического обитания их вымерших сородичей. Проблема состоит лишь в организации его охраны.

**58****Калейдоскоп**

Проверка общей теории относительности (24). Аэроледомер (24). Не было бы счастья, да несчастье помогло (58). Гидрология Ладожского озера (58). Захоронение с повозкой (58).

**59 ИЗ ПЛЕАДЫ ПРОСВЕТИТЕЛЕЙ И УЧЕНЫХ**

К столетию со дня рождения К.К.Маркова и А.П.Жузе

**Свиточ А.А.****К.К.Марков глазами современников (60)****Марков К.К.****Иван Алексеевич Второв (67)****Мухина В.В., Казарина Г.Х., Маркова А.К.****Школа А.П.Жузе (73)****80****Новости науки**

Извержения на Солнце — в трехмерном виде (80). Вселенная в инфракрасном свете (81). Как оценивать солнечный рентген? (81). Переменный характер «неподвижной» звезды (82). Странности древней Фебы (82). Рентгеновская трубка с катодом из нановолокон (83). Антенны из нанотрубок (83). Нанотрубки для топливных элементов (84). Генетическая дивергенция у птиц. **Гидяров А.М.** (84). Остроумные методики исследований. **Семенов Д.В.** (85). Лишайники по желанию. **Еськова А.К.** (86). Врожденные способности новокаледонских ворон. **Петров П.Н.** (86). Поллютанты на острове Росса (86). В Мексиканском заливе извергался асфальт (87). Статистика циклонов (87). Как противостоять землетрясениям? (88). «Почему бы нет?» (89). От руин древнего курорта — к музею (89).

Коротко (57)

**Рецензии****90 Глушков В.В.****«Описание обитаемого нами земного шара»****93****Новые книги****Встречи с забытым****94 Краснов В.Н.****Балтийский «Варяг»**

**CONTENTS:****3 Boldyrev A.A.**  
**Neuronal Receptors in Immune System Cells**

*Specific receptors of nerve cells, recently found in lymphocytes, are strong evidence of real connection between nervous and immune systems.*

**9 Aktziperov O.A.**  
**Old Story in New Light: the Second Harmonics Is Studying Surface**

*For a long time nonlinear optics had been playing a relatively modest role in studying surfaces of solids. But when femtosecond solid-state lasers became available the situation had changed dramatically.*

**18 Rosen M.**  
**Building a Biological Pacemaker**

*Even the most advanced electronic pacemakers unfortunately are imperfect. There is every reason to hope that some of the most severe diseases — arrhythmias — will soon become curable using genetic and cellular therapy.*

**25 Lein A.Yu., Savvichev A.S., Leibman M.O., Perednya D.D.**  
**Ice Record: an Example of Deciphering Using Isotopic Tracers**

*Given isotopic composition of sulfur and carbon in ice samples it is possible to answer a number of questions about their origin and estimate anthropogenic sulfur content in modern snowfields.*

**35 Nedospasov A.A., Beda N.V.**  
**Biogenic Oxides of Nitrogen**

*Detailed analysis of nitrogen oxides metabolism have resulted in discovery of micellar catalysis. This allows reconsideration of existing views on the role of these compounds in mammal metabolism and on their possible influence on it in normal and various pathological conditions.*

**43 Shchetnikov A.A., Filinov I.A.**  
**Waterfalls of South-Western Near-Baikal Region****46 Spiridonov E.M.**  
**Stepnyak Hypergenic Jaspers of North Kazakhstan****48 Trepet S.A.**  
**Mountain Bison**

*Population of mountain bison that have originated in Caucasian reserve is an example of the most successful adaptation of reconstructed bisons to historical habitat of their extinct congeners. The only problem remains to organize their protection.*

**58 Kaleidoscope**

Testing General Relativity (24). Aeroicemeter (24). A Blessing in Disguise (58). Hydrology of Ladoga (58). Burial With a Vehicle (58).

**59 FROM PLEIAD OF ENLIGHTENERS AND SCIENTISTS**

To Centenary of K.K.Markov and A.P.Jouse

**Svitoch A.A.**

**K.K.Markov in the Eyes of Contemporaries (60)**

**Markov K.K.**

**Ivan Alekseevich Vtorov (67)**

**Mukhina V.V., Kazarina G.Kh., Markova A.K.**

**Scientific School of A.P.Jouse (73)**

**80 Science News**

Eruptions on the Sun in Three Dimensions (80). Universe in Infrared Light (81). How to Estimate Solar X-radiation? (81). Variable Character of a «Fixed» Star (82). Oddities of Ancient Phoebe (82). X-ray Tube with Nano-fibre Cathode (83). Aerials from Nanotubes (83). Nanotubes for Fuel Cells (84). Genetic Divergence in Birds. Ghilyarov A.M. (84). Witty Research Methods. Semenov D.V. (85). Lichens by Request. Es'kova A.K. (86). Innate Abilities of New-Caledonian Crows. Petrov P.N. (86). Pollutants at Ross Island (86). Asphalt Was Erupted in Gulf of Mexico (87). Statistics of Cyclones (87). How to Withstand Earthquakes? (88). «Pourquoi-Pas?» (89). From Ruins of Ancient Resort — to Museum (89).

In Brief (57)

**Book Reviews****90 Glushkov V.V.**  
**«Description of the Terrestrial Globe Inhabited by Us»****93 New Books****Encounters with the Forgotten****94 Krasnov V.N.**  
**Baltic «Varyag»**



# Нейрональные рецепторы в клетках иммунной системы

А.А.Болдырев

Человек давно предполагал наличие взаимодействий между иммунной и нервной системами в организме. Недаром нам всем привычна поговорка «В здоровом теле — здоровый дух». Известны также и примеры обратной связи — еще Гиппократ отметил эту закономерность. В его «Диалогах» ученики спрашивают: «Учитель, ты лечил богатых и бедных, победителей и побежденных. Какова разница между ними?» И Гиппократ ответил: «Раны победителей заживают быстрее!»

И вот совсем недавно нейробиологи получили доказательства реальной связи между иммунной и нервной системами. В лимфоцитах, циркулирующих в кровяном русле, обнаружены специфические рецепторы нервных клеток. Изучение свойств этих рецепторов открывает новые возможности взаимодействия двух важнейших систем организма.

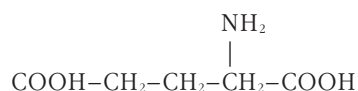
## Глутаматные рецепторы в нервной системе

Среди различных медиаторов, обеспечивающих передачу возбуждения между нейронами клетками, особое место



**Александр Александрович Болдырев**, доктор биологических наук, профессор Центра молекулярной медицины и Международного биотехнологического центра Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, руководитель лаборатории нейробиологии Института неврологии РАМН. Эксперт ВОЗ по теме «Метаболизм мозга при нейродегенеративных заболеваниях». Область научных интересов — устойчивость клеток к окислительному стрессу.

занимает достаточно простая по структуре молекула глутаминовой кислоты, глутамат:

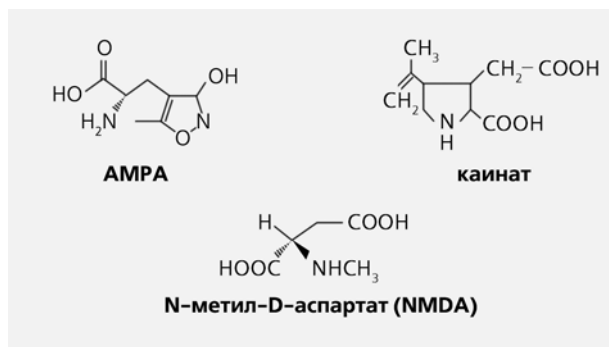


Глутаматергические механизмы представлены примерно в 40% нервных клеток, а оставшаяся часть выпадает на долю всех остальных медиаторов (серотонина, ацетилхолина, допамина и др.).

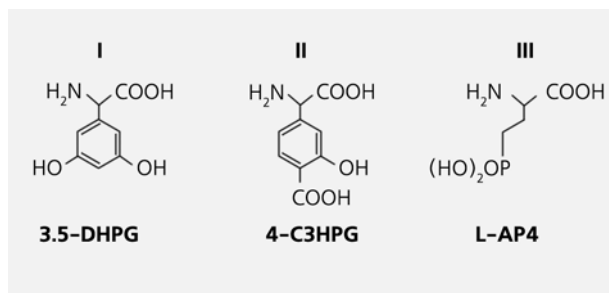
По своему участию в работе нервных клеток глутаматные рецепторы делятся на два больших подтипа. Одни, *ионотропные*, соединены с ионными каналами, они открывают их после активации соответствующими молекулами (лигандами), так что потоки ионов вызывают электрическую активность нейрона. Другие, *метабо-тропные*, структурно не связаны с ионными каналами, они управляют метаболическими процессами в клетке через специальные сигнальные молекулы-информаторы, контролируя активность ионотропных рецепторов. Лиганды, активирующие нейрональные рецепторы, — их первичные информаторы (*первичные мессенджеры*), а сигнальные молекулы, образующиеся при активации метабо-тропных рецепторов и использующиеся для корректировки сигналов внутри клетки, — *вторичные мессенджеры*.

© Болдырев А.А., 2005

Наличие разных глутаматных рецепторов в глутаматергических синапсах головного мозга продемонстрировано с помощью фармакологических соединений, взаимодействующих с каким-либо одним видом глутаматных рецепторов. Выделяют три группы ионотропных рецепторов, названных в соответствии с лигандами, обеспечивающими их активацию: NMDA-рецепторы, каинатные рецепторы и AMPA-рецепторы.



Метаботропные рецепторы в настоящее время представлены восемью различными белками, которые делятся на три группы в зависимости от того, какие вторичные мессенджеры они включают в работу. Рецепторы группы I связаны с регуляцией кальций-зависимых реакций, а II и III групп — с циклическими нуклеотидами.



Более подробно о функциях вторичных мессенджеров в клетках и внутриклеточных путях регуляции можно прочитать в специальной литературе [1].

Кроме соединений, имитирующих действие глутамата на отдельные виды рецепторов, агонистов глутамата, известны и вещества, избирательно выключающие их, — антагонисты глутамата. Для простоты изложения не будем приводить полные названия, а ограничимся общеупотребимыми сокращениями этих синтетических лигандов, которые активно используют в экспериментальной нейробиологии. Однако следует обратить внимание, что все разнообразие возможностей современной фармакологии вместились в одну простую формулу глутамата, способного в синаптических структурах мозга активировать различные рецепторы, причем в том соотношении, которое обеспечивает согласованную работу всей глутаматергической системы.

## Молекулярные реакции активируемого нейрона

Нейрон активируется в результате взаимодействия глутамата с ионотропными рецепторами. Возникающая при этом электрическая активность (электрический потенциал) распространяется вдоль по аксонам до нервного окончания и передает информацию о возбуждении на другие нейроны. Одновременно в возбуждаемой нервной клетке происходят важные метаболические изменения. Временная последовательность этих процессов в общих чертах выяснена и представляется следующим образом. При высвобождении глутамата в межсинаптическую щель среди всех рецепторов, взаимодействующих с ним, наиболее активны каинатные. Они открывают соответствующие ионные каналы, через которые ионы натрия устремляются внутрь клетки и формируют возбуждающий потенциал. Аналогичную роль выполняют AMPA-рецепторы.

В покоящемся нейроне NMDA-рецепторы связаны с ионами магния, из-за чего их сродство к медиатору снижено. Однако благодаря деполяризации мембраны, вызываемой возбуждающим потенциалом, комплекс распадается, ионы магния отделяются от NMDA-рецепторов, и способность последних связывать глутамат повышается. Таким образом, на второй стадии возбуждения открываются NMDA-зависимые ионные каналы, пропускающие внутрь нейрона натрий и кальций. Это удлиняет возбужденное состояние мембраны и одновременно включает внутриклеточные реакции, зависящие от ионов кальция.

Длительность второй волны возбуждения определяется не только активностью NMDA-рецепторов. Появление глутамата в межсинаптической щели стимулирует специальные белки, которые обеспечивают захват и обратный транспорт этого медиатора в нервные или глиальные клетки. Точно так же и ионы кальция, попавшие внутрь возбужденного нейрона, с одной стороны, инициируют высвобождение дополнительного количества кальция из внутриклеточных депо, а с другой, — активируют ионные насосы, выбрасывающие кальций из клетки наружу. Следовательно, вероятность активации NMDA-рецепторов лежит в том временном интервале, когда они еще могут связаться с медиатором (мембрана нейрона деполяризована и магний отделен от ингибирующего центра), а в межсинаптической области еще имеются молекулы глутамата, избежавшие обратного захвата. Но и кальций-зависимые реакции в клетке имеют ограниченные временные возможности — пока стационарная (очень низкая) концентрация этого иона не будет восстановлена. Таким образом, взаимодействие между каинатными и NMDA-рецепторами определяет длительность волны возбуждения и эффективность перестройки метаболизма нервной клетки под влиянием кальция.

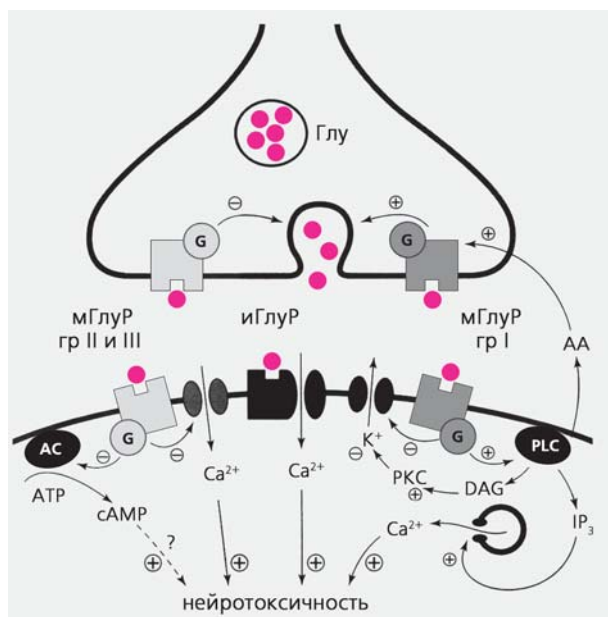


Рис. 1. Схема взаимодействия ионотропных и метаботропных рецепторов в функции нейрона. Глутамат высвобождается из пресинаптического окончания и взаимодействует с ионотропными (иГлуР) и метаботропными (мГлуР) рецепторами (I, II и III) в зависимости от того, с какими вторичными мессенджерами они связаны — инозитолтрифосфатом, (IP<sub>3</sub>), циклическим АМФ, (сАМФ), ионами кальция и ферментом аденилатциклазой (АС). Эти мессенджеры активируют различные внутриклеточные киназы (в том числе протеинкиназу С, PKC), регулирующие проницаемость ионных каналов постсинаптической мембраны. Избыточная продукция вторичных мессенджеров приводит к нейротоксичности. Метаботропные рецепторы группы I увеличивают высвобождение глутамата, а групп II и III — уменьшают его.

Но даже и эта сложная игра на сродстве разных рецепторов к глутамату и эффективности системы его обратного транспорта не исчерпывает тонкой настройки нервной клетки на передачу и реализацию возбуждения. Она довершается участием метаботропных рецепторов в регуляции активности ионотропных рецепторов и глутаматного транспортера.

На пресинаптической мембране при возбуждении метаботропные рецепторы групп II и III подавляют высвобождение глутамата. Напротив, метаботропные рецепторы группы I стимулируют этот процесс. Их действие инициируют арахидоновая кислота (АА) и диацилглицерин (DAG), которые высвобождаются при активации фосфолипазы С (PLC) метаботропными рецепторами группы I на постсинаптической мембране. Второй регулятор, диацилглицерин, активирует протеинки-

назу С, которая блокирует калиевые каналы. На этой же постсинаптической мембране метаботропные рецепторы групп II и III блокируют потенциал-зависимые Ca-каналы. Таким образом, возбуждение клетки, вызванное ионотропными рецепторами синаптического контакта, контролируется метаботропными рецепторами этих же синаптических мембран (рис.1).

Активация протеинкиназы С и подавление K-каналов удерживают деполяризацию мембраны, тем самым препятствуя связыванию магния с NMDA-рецепторами и поддерживая их сродство к медиатору. Вероятно, именно благодаря этому избыточное возбуждение метаботропных рецепторов вызывает токсический эффект NMDA. Это свойство лежит в основе дисбаланса в функции нервных клеток, который проявляется при различных повреждениях мозга — от нейродегенерации до ишемии, наступающей при инсульте. Значит, нейротоксичность NMDA-рецепторов может приводить к клеточной смерти — либо к *некрозу*, либо к *апоптозу*.

Для понимания молекулярных механизмов работы системы небезразлично, какой путь будет выбран. Важно это знать и медикам, разрабатывающим способы защиты нейронов мозга от смерти в неблагоприятных условиях [2]. Современные приборы с помощью специальных красителей позволяют количественно оценить каждый из этих видов клеточной смерти при окислительном повреждении мозга. Очень часто для таких исследований используется проточная цитометрия — метод индивидуальной характеристики клеток [3].

## Апоптоз, некроз и пролиферация клеток

Благодаря проточной цитометрии исследователи могут легко отличать живые нейроны от тех, которые встали на путь клеточной смерти, и дифференцировать некротические нейроны от апоптозных на самых ранних стадиях. Апоптоз — генетически запрограммированная смерть, осуществляемая с помощью специфических механизмов и ферментов. При апоптозе клетка сморщивается, ее структуры разрушаются цистеиновыми-аспарагиновыми протеиназами, так называемыми *каспазами*. Семейство этих ферментов (в него входит около десяти различных протеиназ) составляет каскад взаимоконтролируемых белков, перевод которых в активное состояние требует одновременного присутствия ряда клеточных факторов. Такой ступенчатый механизм предохраняет от случайного возникновения апоптоза.

Некроз обусловлен механическим или иным повреждением клеточной мембраны, нарушением целостности и управляемости клетки. Клетки, не способные выполнять свои функции, умирают,

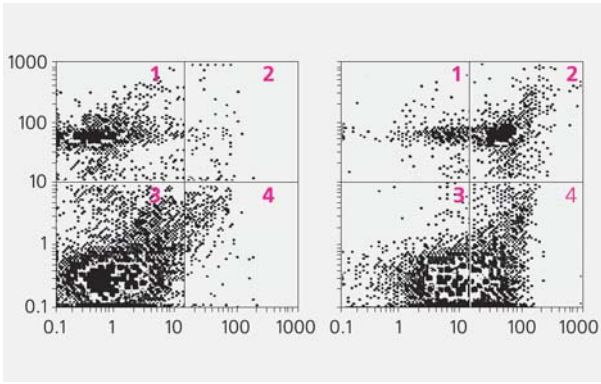


Рис.2. Экспериментальные результаты индукции апоптоза и некроза в суспензии нейронов: в контроле (слева) и после 30 мин инкубации в присутствии 0.5 мМ NMDA (справа). Цифрами указаны субпопуляции нейрональных клеток: живые (3), апоптотные (4), поврежденные легкому (1) и тяжелому (2) некрозу.

а их большое количество создает в ткани очаг воспаления.

Несмотря на принципиальные отличия апоптоза и некроза, их объединяет полезное свойство — они помогают организму очиститься от ненужных (поврежденных) или вредных (чужеродных) структур. В очаг воспаления устремляются макрофаги и другие клетки, «мусорщики», удаляющие некротические части тканей или чужеродные частицы (например, попавшие в ткани занозы). С помощью апоптоза организм пытается распознать и ликвидировать клетки-мутанты, ставшие опасными для организма (перерождающиеся спонтанно или под влиянием внешних факторов). Так, частота появления в организме злокачественных клеток много выше, чем вероятность самого заболевания, поскольку в большинстве случаев они распознаются и нейтрализуются иммунной системой без вреда для организма.

Апоптоз запрограммирован на постепенное контролируемое устранение клеток, а некроз осу-

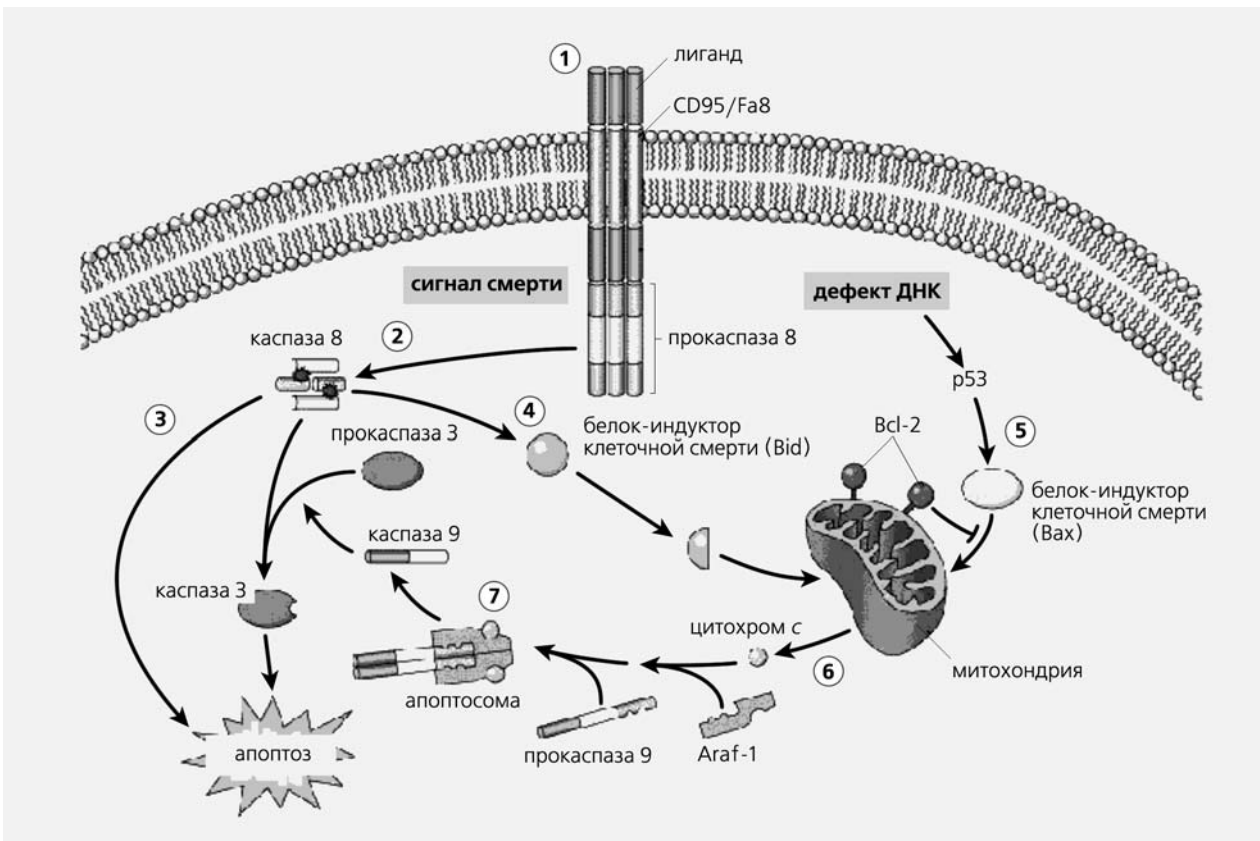


Рис.3. Схема активации апоптоза, вызванной лигандом, взаимодействующим с рецептором CD95/Fas и стимулирующим каспазный цикл. 1 — взаимодействие лиганда с клеточным рецептором; 2 — высвобождение прокаспазы 8 и ее активация (сигнал клеточной смерти); 3 — появление одного из факторов активации апоптоза (активная каспаза 8); 4, 5 — образование белков клеточной смерти (Bid, Bax), устранивших защиту митохондриальной мембраны белком Bcl-2, препятствующим утечке цитохрома с; 6 — утечка цитохрома с из митохондрий и образование апоптосом с участием фактора Araf-1; 7 — образование апоптосом и превращение прокаспазы 9 в активный фермент, активирующий каспазу 3, которая инициирует апоптоз.



ществляется быстро, хаотически и неуправляемо. При апоптозе фрагменты клеток или даже целые белковые молекулы могут использоваться другими клетками для выполнения тех же самых функций. Например, в тимусе, где происходит созревание лимфоцитов, клетки, распадающиеся при апоптозе, поставляют свои белки-рецепторы для превращения «юных» лимфоцитов в полноценные иммунные клетки.

Эпителиальные клетки слизистой запрограммированы таким образом, что апоптоз индуцируется в них периодически и с большой частотой (они живут лишь 1.5–2 недели). Отторжение апоптозных клеток снижает вероятность проникновения в организм вирусной инфекции. Интересно, что в русской армии для предотвращения кишечных эпидемий по указу Петра I в пищу добавляли перец. Сегодня известно, что это прекрасное средство для активации апоптоза клеток слизистого эпителия.

Так или иначе, выгода распознавания ранних стадий и типа клеточной смерти очевидна. Для каждого из них имеются свои специфические маркеры. Один из фосфолипидов клеточных мембран, *фосфатидилсерин*, в нормальных условиях расположенный с внутренней стороны мембранного бислоя, при нарушениях цитоскелета сигнализирует о начале апоптоза. Кстати, именно так макрофаги распознают и удаляют злокачественные клетки. Белки, чувствительные к фосфатидилсерину (*аннексины*), используют для раннего распознавания апоптозных клеток. А для некротических клеток с поврежденной мембраной имеется другой маркер. Им может быть краситель, например *иодид пропидия* (PI), который связывается с нуклеиновыми кислотами, но не проникает через мембрану живых (нативных) клеток.

Экспериментально показано, что после длительной (30 мин) индукции окислительного стресса активацией NMDA-рецепторов появляются и некротические, и апоптозные клетки, причем их долю в популяции легко рассчитать (рис. 2). Таким образом, в руках исследователей имеется модель, позволяющая оценивать как потенциальную уязвимость нейронов со стороны различных факторов, так и возможность защиты клеток от апоптоза или некроза (например, с помощью лекарственных препаратов).

Следить за развитием апоптоза можно также, измеряя активность внутриклеточных каспаз, которые в клетке взаимно контролируют друг друга (рис. 3). Так, при связывании на клеточной мембране внеклеточных сигнальных молекул со специальным рецептором (CD95/Fas) в цитоплазме неактивная прокаспаза 8 превращается в активный фермент, который, в свою очередь, активирует каспазу 3, что открывает клетке путь к апоптозу. Нагружая клетки флуорогенным субстратом каспазы 3 и стимулируя их разными способами, можно измерять сигнал от флуоресцентного про-

дукта. Растет продукт — активируется каспаза 3, и интенсивность сигнала будет пропорциональна активации фермента и вероятности развития апоптоза.

Однако каспаза 3 участвует не только в реализации апоптоза, но и во многих стадиях клеточного цикла и в процессах пролиферации [4]. Особенно важны эти реакции для клеток иммунной системы. Значит, в ряде случаев активность каспазы 3 не обязательно означает начало апоптоза, а может быть связана с пролиферацией лимфоцитов.

## Глутаматные рецепторы иммунокомпетентных клеток

История открытия и изучения глутаматных рецепторов накопила массу примеров их причастности к работе нервной системы: NMDA-рецепторы ответственны за молекулярные механизмы памяти, метаболитные рецепторы вовлечены в процессы нейропластичности [5]. Тем неожиданнее оказались факты, указывающие на возможное присутствие глутаматных рецепторов не только в нейрональных клетках [6]. В 1997 г. И.А.Костянян и соавторы обнаружили, что глутамат хорошо связывается с мембранами лимфоцитов человека [7]. Вытеснить из этой связи его можно, добавляя структурный аналог глутамата — квиксвалоную кислоту. Позже было показано, что глутаматные рецепторы имеются в лимфоцитах грызунов, и их активация приводит к росту в клетках свободных ионов кальция и активных форм кислорода, в результате чего активируется каспаза 3 [8]. Предотвращение роста активного кислорода блокирует этот фермент (рис.4). Все эти факты демонстрировали, что работа NMDA-

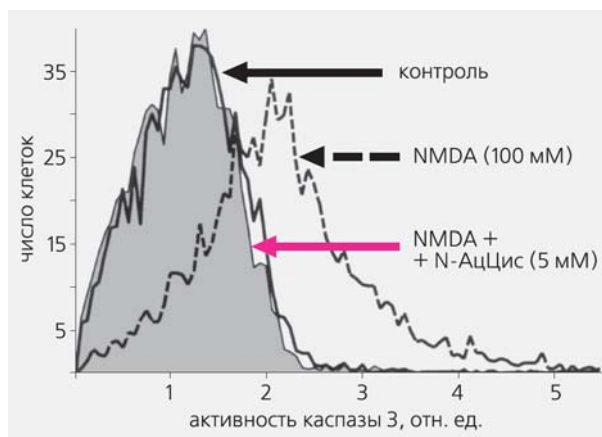


Рис.4. Экспериментальные кривые активации каспазы 3. Инкубация лимфоцитов мыши с N-метил-D-аспаратом (NMDA) приводит к увеличению каспазной активности. Антиоксидант N-ацетилцистеин препятствует активации каспазы.



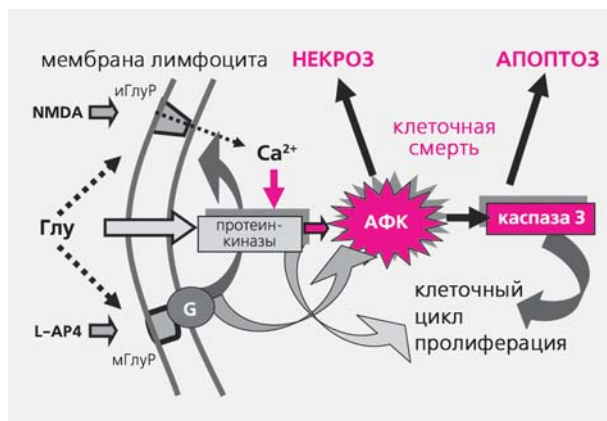


Рис.5. Регуляция жизни и смерти лимфоцита глутаматными рецепторами. При взаимодействии глутамата (Глу) с ионотропными рецепторами (иГлуР) ионы кальция входят внутрь клетки, активизируют протеинкиназы и каспазу 3, которая стимулирует пролиферацию. Взаимодействие глутамата с метаботропными рецепторами (мГлуР) через G-белки стимулирует активность иГлуР, что приводит к дополнительной активации протеинкиназ и усиленному росту активных форм кислорода (АФК). В этом случае возможна индукция клеточной смерти как по пути апоптоза, так и по пути некроза. NMDA и L-AP4 имитируют отдельный эффект глутамата на иГлуР и мГлуР соответственно.

рецепторов в лимфоцитах — не случайный процесс, а связана с глутаматной регуляцией иммунокомпетентной системы клетки.

Дальнейшие исследования, проводимые в МГУ им.М.В.Ломоносова и в Институте неврологии РАМН, показали, что, кроме NMDA-рецепторов, в лимфоцитарной мембране имеются и метаботропные рецепторы группы III. Как и в нейрональных клетках, они выступают регуляторами ионотропных рецепторов. В наших экспериментах при активации NMDA-рецепторов в лимфоцитах увеличивалась концентрация ионов кальция и активных форм кислорода и, как следствие, активировалась каспаза 3. Ни один из этих эффектов не проявлялся, если в среду инкубации добавляли активатор метаботропных рецепторов L-AP4. Однако совместное присутствие NMDA и L-AP4 оказывало драматический эффект на жизнеспособность клеточной популяции. Даже после короткой инкубации появлялось большое количество мертвых клеток. Это привело нас к выводу, что присутствие ионотропных и метаботропных рецепторов глутамата на мембранах лимфоцитов

делает их чувствительными к тем же самым сигнальным молекулам, которые управляют активностью нейронов (рис.5).

\* \* \*

Насколько важен факт распространения глутаматных механизмов регуляции на иммунную систему? Фактически, открытие на клетках иммунной системы глутаматных рецепторов, ответственных за молекулярную память, позволяет предполагать общность формирования поведенческих, адаптационных и других реакций в клетках нервной и иммунной систем. Другими словами, и те и другие клетки открыты одним и тем же видам сигнальных молекул, и информация, обусловленная их появлением, доступна как нервной, так и иммунной системе. Значит, эти системы могут «общаться», используя язык одних и тех же химических символов [9]. Наличие глутаматных рецепторов в клетках иммунной системы вскрывает структурную основу этих взаимодействий и позволяет считать глутамат не только нейро-, но и иммунномедиатором. ■

## Литература

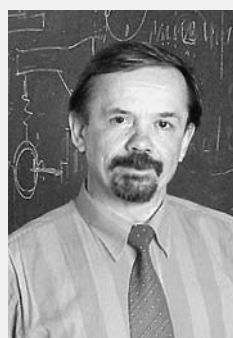
1. Введение в молекулярную медицину / Ред. М.А.Пальцев. М., 2004.
2. Болдырев А.А. // Биохимия. 2000. Т.65. С.981—990.
3. Болдырев А.А., Юнева М.О. // Соросовский образовательный ж-л. 2004. Т.8 (№2). С.7—14.
4. Caspases: their role in cell death and cell survival / Eds M.Los, H.Waczak. 2002.
5. Carpenter D. NMDA receptors and the molecular mechanisms of excitotoxicity, in Oxidative Stress at Molecular, Cellular and Organ Levels / Eds P.Johnson, A.Boldyrev. Research Signpost, Trivandrum, 2002. P.77—88.
6. Болдырев А.А., Тунева Е.О. // Биол. мембраны. 2005. Т.22. С.142—145.
7. Костянян И.А., Наволоцкая Е.В., Нуриева Р.И. и др. // Биоорг. хим. 1997. Т.23. С.805—808.
8. Boldyrev A.A., Kazey V.I., Leinsoo T.A. et al. // Biochem. Biophys. Res. Commun. 2004. V.324. P.133—139.
9. Nedergaard M., Takano T. and Hansen A.J. // Nature Rev. Neurosci. 2002. V.3. P.748—755.



# Старая история в новом свете: вторая гармоника исследует поверхность

О.А.Акципетров

**П**оверхность твердого тела в современном понимании — это локализованный на границе раздела слой вещества, толщина которого не превосходит нескольких постоянных кристаллической решетки  $a_0 = 1-2 \text{ \AA}$ . Интерес к поверхности и ее свойствам имеет долгую историю. Именно на ней происходят важнейшие химические и физико-химические процессы: адгезия, адсорбция, коррозия, катализ и многое-многое другое; в биологии процессы на поверхности мембран часто оказываются жизненно важными в прямом смысле этого слова. Соответствующие исследования стимулировались в первую очередь фантастическим развитием микроэлектроники, в устройствах которой поверхность и границы разделов играют принципиальную роль. Более того, грядущая эпоха нанoeлектроники выдвигает физику поверхности на самый передний рубеж физики конденсированных сред, поскольку эффекты, на которых основана работа приборов нанoeлектроники, будут связаны исключительно с поверхностными слоями. Поэтому развитие новых методов исследования и диагностики поверхности и процессов, на ней протекаю-



*Олег Андреевич Акципетров, доктор физико-математических наук, профессор кафедры квантовой электроники физического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — нелинейная оптика поверхности, наноструктур, фотонных кристаллов. Лауреат Государственной премии РФ 2001 г.*

щих, становится одним из главных направлений работы экспериментаторов.

Диагностика поверхности — весьма развитая экспериментальная область, в которой насчитываются десятки методов и где оптика (а нелинейная оптика тем более) занимала до сих пор весьма скромное место. Основной способ изучать поверхность — зондировать ее электронами или фотонами высоких энергий и регистрировать дифракционную картину или энергетический спектр отраженных, эмитированных или рассеянных электронов. В определенном диапазоне энергий такие вторичные частицы покидают вещество из тонкого приповерхностного слоя, и их угловой и энергетический спектры несут информацию о структуре и электронных свойствах поверхности.

Например, если облучать поверхность потоком электронов с энергией меньше 100 эВ, то такие электроны (их называют медленными) взаимодействуют только с несколькими поверхностными слоями твердого тела. Отраженные электроны при этом дают дифракционную картину, которая определяется кристаллографической структурой поверхностного слоя. Дифракция медленных электронов в настоящее время — один из самых информативных методов структурных исследований поверхности.

К таким же мощным и широко распространенным способам анализа качественного состава поверхности относится фотоэлектрон-

© О.А.Акципетров, 2005

ная Оже-спектроскопия. Энергетический спектр электронов, выбитых из атомов рентгеновским излучением, имеет резонансные пики, энергия которых является специфической для различных элементов, что и позволяет определять присутствие на поверхности атомов тех или других элементов.

Тонкие детали межатомных взаимодействий на поверхности могут быть исследованы методом спектроскопии тонкой структуры края поглощения рентгеновских лучей. В данном случае проводится анализ интерференционного поведения волн электронов, рассеянных поверхностным атомом и нижележащими атомами кристалла.

## Красный свет становится синим

Когда луч света падает на поверхность, с ним происходят хорошо известные превращения: возникают отраженная и преломленная волны. Если среда поглощающая, часть энергии волны, преломленной внутрь среды, поглотится. Однако подобная трансформация предполагает, что частота света при попадании в среду не меняется. Это, по сути, есть определение линейности оптического отклика среды. Тем не менее оказывается, что если свет попадает в так называемую нелинейную среду, его частота может измениться. В спектре света, распространяющегося в нелинейной среде или отраженного от ее поверхности, присутствует излучение не только на основной, но и на удвоенной частоте.

Появление новых спектральных компонент (высших гармоник, суммарных и разностных частот) при взаимодействии света с веществом легко понять из феноменологической модели нелинейно-оптической среды. В такой модели материал рассматривается как непрерывная среда с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon(E)$ , которая зависит от напряженности электрического поля  $E(\omega)$  световой волны. (Напомним, что в линейной оптике такой зависимости нет.) Тогда поляризация среды (т.е. дипольный момент, наведенный распространяющимся в веществе светом) может быть представлена в виде ряда по степеням поля [1]:

$$P(E) = P^L + P^{NL} = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + \dots$$

где коэффициенты разложения  $\chi$  называются восприимчивостями. Легко видеть, что второй член в разложении поляризации, т.е. диполь, имеющий квадратичную зависимость от напряженности поля световой волны, будет источником излучения на удвоенной частоте (следующий — на утроенной, и т.д.). Действительно, при распространении плоской монохроматической световой волны  $E(\mathbf{r}, t) = E_0 \sin(\omega t - \mathbf{k}\mathbf{r})$  в среде возникнет волна дипольных моментов, осциллирующих на удвоенной частоте, — волна нелинейной поляризации  $P^{NL}(2\omega) = \chi^{(2)}E_0^2 \sin^2(\omega t - \mathbf{k}\mathbf{r}) \propto \cos(2\omega t - 2\mathbf{k}\mathbf{r})$ , кото-

рая и будет источником излучения второй гармоники.

Особый интерес к генерации отраженной второй гармоники связан с уникальной поверхностной селективностью и чувствительностью этого нелинейно-оптического процесса в средах, обладающих центральной симметрией (структура которых инвариантна по отношению к операции инверсии). Оказывается, в таких средах квадратичная восприимчивость тождественно равна нулю и существует весьма строгий запрет на генерацию второй гармоники в объеме вещества, что принципиально отличает эти среды от нецентросимметричных. Поверхностный же слой толщиной в несколько межатомных расстояний  $a_0$  всегда нецентросимметричен, поскольку вдоль направления нормали к поверхности операция инверсии больше не является операцией симметрии (иными словами, направления «вверх» и «вниз» вблизи границы раздела всегда неэквивалентны). Это означает, что поверхностный слой всегда обладает квадратичной нелинейной восприимчивостью  $\chi^{(2)}$  и в центросимметричных средах служит практически единственным источником излучения второй гармоники. Излучение второй гармоники поверхностью не маскируется нелинейным откликом объема и несет информацию только о свойствах поверхности. Это весьма существенное обстоятельство, поскольку все металлы, а также важные полупроводники (например, германий и кремний) обладают кристаллической структурой, симметрия которой содержит операцию инверсии.

На рис.1,а приведена принципиальная схема эксперимента по наблюдению и исследованию процесса генерации отраженной второй гармоники, происходящего в поверхностном слое центросимметричного материала. Данное излучение можно охарактеризовать: спектром интенсивности (зависимостью интенсивности от частоты возбуждающего света  $\omega$ ); азимутальной анизотропией (зависимостью интенсивности от угла  $\phi$  поворота образца относительно нормали к поверхности); диаграммой направленности (зависимостью интенсивности от полярного угла наблюдения  $\Theta_{2\omega}$ ); наконец, поляризацией и фазой волны второй гармоники. Эти характеристики несут информацию о структурных, морфологических и электронных свойствах поверхности или границы раздела. Процедура извлечения информации из результатов нелинейно-оптических измерений, включающая в себя решение обратной задачи, схематически представлена на рис.1,б. Таким образом можно определить элементы симметрии (оси и плоскости симметрии) для поверхностной кристаллической решетки, энергию резонансных электронных переходов на поверхности (энергию поверхностных состояний), морфологические особенности (шероховатость) наномасштабов.



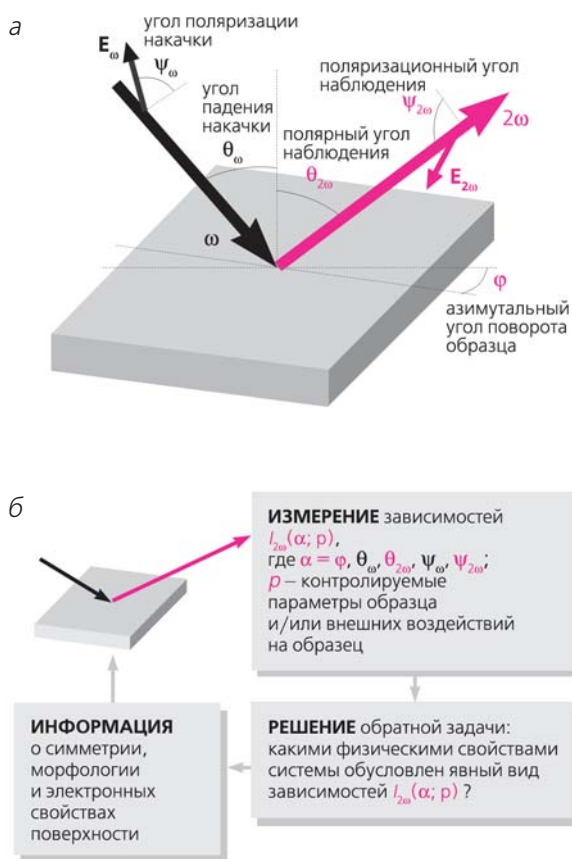


Рис.1. Типичная схема эксперимента по исследованию отраженной второй гармоники (а). Введены основные варьируемые экспериментальные параметры.

Схема решения обратной задачи извлечения информации о свойствах поверхности по результатам измерения параметров излучения второй гармоники (б). Контролируемыми параметрами образца служат его размеры, толщина (иногда состав подложки или параметры напыления пленки) и др. К внешним воздействиям на образец относятся, например, статические электрические или магнитные поля, температура, деформация. Решение обратной задачи позволяет определить элементы симметрии структуры поверхности или тонкой пленки, заряд поверхностных или интерфейсных состояний, энергетический спектр поверхностных электронов, наншероховатость и др.

Отметим здесь две особенности нелинейно-оптической методики исследования поверхности, обеспечивающие ее отличия от электронных и рентгеновских методов. Прежде всего, применение оптического излучения позволяет исследовать не только поверхность твердого тела в вакуумных условиях, но и границы раздела, в том числе и внутренние (скрытые) границы раздела конденсированных фаз, если хотя бы одна из них

прозрачна для излучения накачки и второй гармоники. Кроме того, оптическая природа метода открывает уникальные возможности в плане временного разрешения. Благодаря использованию современных фемтосекундных лазеров удастся изучать динамику процессов с характерными временами порядка десятков фемтосекунд, что недоступно ни одному другому из известных методов исследования поверхности.

### Почему возникает нелинейность

Связь нелинейно-оптического отклика со свойствами электронной подсистемы вещества очевидна, поскольку восприимчивость  $\chi$  среды становится нелинейной из-за ангармонизма в динамике электронов. Потенциал в нелинейных средах, в котором происходит движение валентных электронов, ответственных за оптический отклик вещества, ангармоничен. Напомним, что для связанного в атоме электрона ангармонический потенциал имеет вид:

$$V(x) = \frac{1}{2} m\omega_0^2 x^2 - \frac{1}{3} m\alpha x^3 - eEx,$$

где первое слагаемое ответственно за гармонические осцилляции с резонансной частотой  $\omega_0$ , второй член учитывает ангармонические поправки, а последнее слагаемое описывает движение электрона во внешнем поле световой волны. Поэтому действующая на электрон сила  $F(x,E) = -\text{grad } V(x)$  содержит член, квадратичный по смещению электрона  $x$  и пропорциональный параметру ангармонизма  $\eta$ ; квадратичная компонента, как мы помним, порождает компоненту на удвоенной частоте  $2\omega$ . Соответствующее этой силе смещение электрона в атоме, а значит, и наведенный дипольный момент, и связанная с ним нелинейная поляризация становятся источником излучения на частоте второй гармоники.

Подобный механизм нелинейности отклика связанного электрона справедлив для полупроводников и диэлектриков. Однако и свободный электрон, колеблющийся по закону  $\sin\omega t$  в электрическом поле световой волны (например, электрон в зоне проводимости металла), обладает нелинейностью. Ведь на него со стороны переменной магнитной компоненты световой волны  $H(t) \propto \sin\omega t$  действует сила Лоренца, которая пропорциональна произведению магнитной компоненты и скорости электрона. Скорость электрона в переменном электрическом поле осциллирует с частотой  $\omega$ , и в итоге сила Лоренца содержит компоненту на удвоенной частоте. Вызванное ею смещение электрона (и, соответственно, наведенный в веществе дипольный момент) будет также осциллировать с частотой  $2\omega$ , порождая излучение второй гармоники.

## Атомные кружева на поверхности

Какой пример может подтвердить экспериментально чувствительность процесса генерации второй гармоники к структуре поверхности и к структурным процессам, протекающим на ней? Пожалуй, самыми впечатляющими служат результаты нелинейно-оптических исследований реконструированной\* поверхности кремния (111) в сверхвысоком вакууме и структурного фазового перехода, который происходит на этой

\* Реконструкцией называется изменение параметров и симметрии кристаллографической решетки поверхностного слоя по сравнению с объемной решеткой. Это явление имеет место на атомарно чистых поверхностях полупроводников и металлов в условиях сверхвысокого вакуума [2].

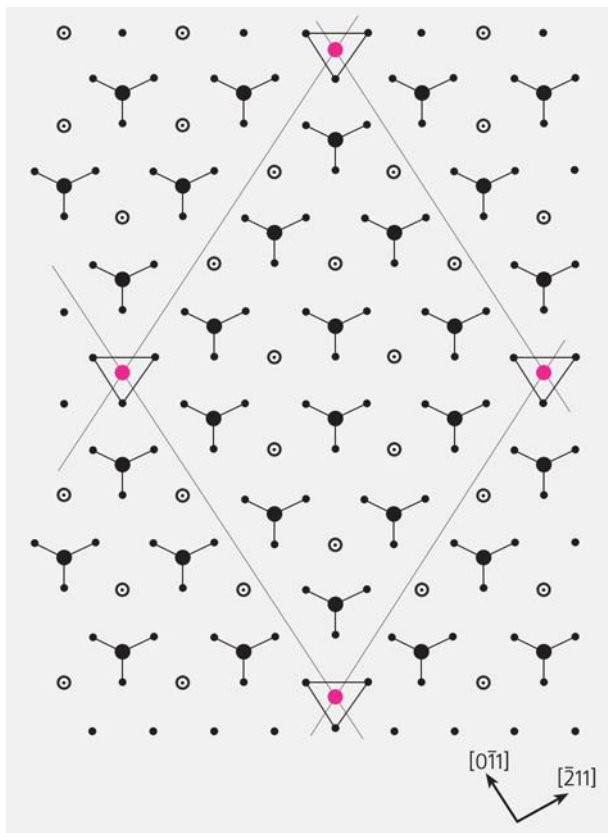


Рис.2. Структура атомов кремния на поверхности (111) монокристалла кремния с реконструкцией 7×7. Можно выделить четыре различных «элемента» поверхностной элементарной ячейки, показанной ромбом: самые выступающие атомы кремния (большие черные кружки), каждый из которых связан с тремя атомами кремния из основного поверхностного слоя (маленькие черные точки); атомы основного слоя с ненасыщенными связями (кружки с точками); вакансии (цветные кружки) в слое выступающих адатомов в вершинах ромба ячейки, окруженные треугольниками взаимных связей атомов кремния из основного слоя, лежащих под вакансиями.

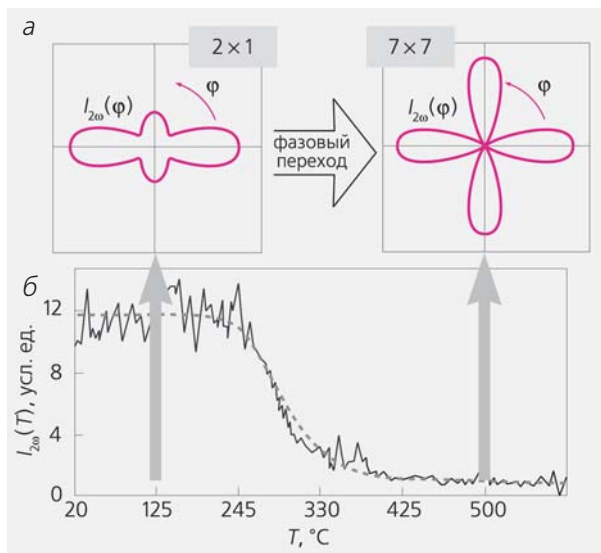


Рис.3. Исследование реконструкционного фазового перехода на поверхности кремния (111). Поляризационные диаграммы излучения второй гармоники для реконструкции поверхности 2×1 при температуре 125°C и для реконструкции поверхности 7×7 при температуре 500°C (а). Температурная зависимость интенсивности для значения угла  $\phi = 45^\circ$ , при котором интенсивность второй гармоники в высокотемпературной фазе существенно падает (б).

поверхности при нагревании. На рис.2 приведена структура расположения атомов кремния на поверхности (111) монокристалла кремния с реконструкцией 7×7. В отличие от объема, где атомы кремния упакованы в кубическую ячейку, на поверхности атомы упорядочены в значительно более сложную конструкцию. Сильнее всего выступающие над поверхностью атомы кремния (в элементарной ячейке их 12) связаны каждый с тремя атомами кремния из основного поверхностного слоя. Эти выступающие атомы кремния называются адатомами, они насыщают связи атомов основного слоя. Однако в основном слое остаются атомы с ненасыщенными («оборванными») связями. Кроме этого, в слое выступающих адатомов имеются вакансии в вершинах ромба ячейки. Вот такую ажурную кружевную структуру 7×7 имеет поверхность кремния, отожженная до температуры 500°C. До отжига поверхность имеет более простую нестабильную структуру с реконструкцией элементарной ячейкой 2×1.

Чтобы увидеть особенности симметрии этих двух типов реконструкции кремния в свете второй гармоники, в работе [3] были измерены зависимости интенсивности отраженной второй гармоники как функции угла поворота анализатора (назовем их поляризационными диаграммами

второй гармоники) для атомарно чистой поверхности (111) в сверхвысоком вакууме при температуре 125 и 500°C (до и после фазового перехода). Оказывается, что двумерная кристаллическая ячейка поверхности кремния при реконструкции 2×1 обладает такой симметрией, что поляризационная диаграмма второй гармоники имеет изотропную компоненту: интенсивность второй гармоники не равна нулю ни при каких углах ориентации анализатора. И наоборот, при реконструкции 7×7 симметрия поверхностной ячейки такова, что излучение второй гармоники определенных поляризаций отсутствует. Вид поляризационных диаграмм с очевидностью демонстрирует связь интенсивности второй гармоники с симметрией кристаллической ячейки и ее изменением при структурном поверхностном фазовом переходе. Измеренная при угле  $\varphi \approx 45^\circ$  температурная зависимость интенсивности второй гармоники, которая приведена на рис.3, позволяет проследить развитие фазового перехода в реальном времени.

### Вторая гармоника следит за водородом

Вопрос о том, что происходит со свойствами чистой поверхности твердого тела (с ее кристаллографической структурой, электронным спектром и т.д.) при адсорбции атомов или молекул других веществ, принципиально важен как с точки зрения фундаментальных исследований, так и для современных технологий микро- и нанoeлектроники. Метод нелинейно-оптической диагностики помогает следить за процессом адсорбции водорода на атомарно чистой поверхности кремния. Этот пример сочетает в себе решение фундаментальных проблем физики поверхности полупроводников с диагностикой поверхности пленок кремния в чисто технологических целях (для производства больших интегральных схем). Речь идет о мониторинге поверхности пленки кремния, выращиваемой методом парофазной эпитаксии из паров кремнийсодержащего вещества. Это вещество, как правило относящееся к классу силанов, называется прекурсором. При разложении молекул прекурсора на поверхности кремния, кроме атомов кремния, идущих на «строительство» эпитаксиальной пленки, выделяется и водород, промежуточная адсорбция которого на поверхности существенным образом влияет на свойства и качество получаемого материала. Поэтому так важно уметь следить за поверхностью кремния и адсорбционными процессами на ней дистанционно и в режиме реального времени, получая необходимую информацию о состоянии поверхности растущей пленки (например, информацию о количестве адсорбированного на ее поверхности водорода) непосредственно в про-

цессе роста. Такая *in situ* методика на основе эффекта генерации второй гармоники для диагностики поверхности пленок кремния, выращиваемых методом парофазной эпитаксии, была недавно разработана.

На рис.4 приведено семейство зависимостей интенсивности второй гармоники от частоты падающего света, полученных в высоком вакууме для реконструированной поверхности (100) кремния, на которую адсорбировался водород с возрастающей плотностью адсорбированных атомов. На них отчетливо заметен резонанс при энергиях фотонов второй гармоники  $2h\omega = 3.34$  эВ, связанный с прямым межзонным электронным переходом. Данное значение энергии электронного перехода, измеренное для чистой поверхности кремния Si(100), несколько меньше значения энергии объемного перехода  $E_1 = 3.4$  эВ, определенной другими методами. Это говорит о том, что спектроскопия отраженной второй гармоники действительно чувствительна к резонансным свойствам поверхностных электронов. Еще более «драматические» изменения происходят в спектре отраженной второй гармоники, когда адсорбированный водород начинает создавать субмонослойное покрытие поверхности: резонансная энергия (частота) электронного перехода уменьшается, амплитуда резонанса также суще-

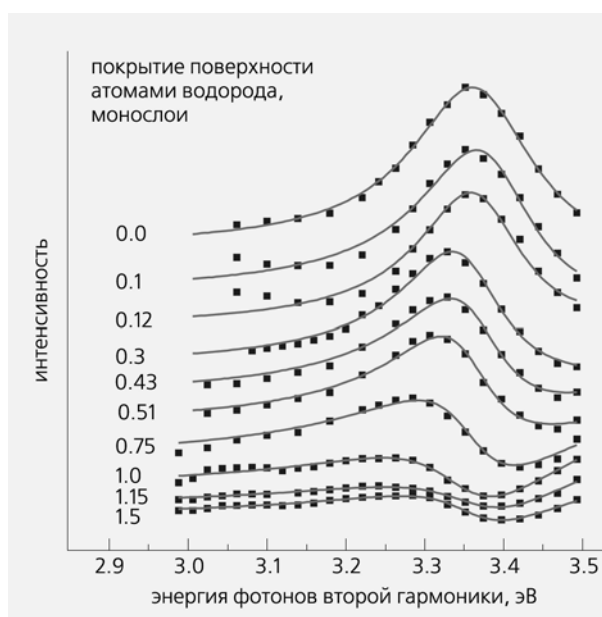


Рис.4. Спектры излучения второй гармоники для поверхности кремния (100) в окрестности поверхностного электронного резонанса при различных величинах поверхностной плотности атомов водорода. Для наглядности кривые сдвинуты друг относительно друга вдоль оси ординат. Форма спектра сильно изменяется при добавлении водорода.



ственно падает, и значительно искажается форма спектральной линии.

Эти сильнейшие спектральные изменения в нелинейном отклике поверхностных электронов при адсорбции атомов водорода вызваны изменением механических поверхностных напряжений и перераспределением зарядов в реконструированном слое толщиной два-три атомных слоя кремния. Они, с одной стороны, дают информацию о силовых константах межатомного взаимодействия для расчетов поверхностной структуры и электронных спектров поверхности, а с другой стороны, позволяют количественно диагностировать поверхностную плотность адсорбированного водорода в технологических процессах.

### А теперь приложим поле, сначала — электрическое...

Выше мы уже говорили о том, что специфика centrosymmetricных сред состоит в отсутствии вклада в отраженную вторую гармонику от объема вещества. Одним из факторов, нарушающих centrosymmetricность и разрешающих тем самым дипольную квадратичную нелинейность приповерхностного слоя, оказывается само наличие поверхности, которое приводит к разрыву структуры. Но это не единственный способ избавиться от инверсионной симметрии. Ликвидировать центр инверсии в приповерхностном слое может и электростатическое поле  $E_{ст}$ . Такие поля могут быть созданы в образце как за счет приложения внешнего напряжения, так и внутренними потенциалами, связанными с перераспределением свободных носителей заряда в приповерхностном слое. Природа снятия центра инверсии в электростатическом поле очевидна: электростатическое поле — это полярный вектор, который не переходит сам в себя при выполнении операции инверсии.

В результате возникает квадратичная нелинейная восприимчивость —  $\chi^{(2)}(E_{ст})$ , индуцированная статическим полем, и соответствующая добавка к интенсивности второй гармоники, генерируемой поверхностью centrosymmetricной среды. Анализ этой добавки существенно расширяет возможности метода: ведь величина поля  $E_{ст}$  и его пространственное распределение в приповерхностном слое зависят от свойств полупроводника (концентрации основных и неосновных носителей, плотности поверхностных состояний, концентрации зарядовых ловушек в окисной пленке, диэлектрической проницаемости полупроводника и окисла, толщины окисной пленки и т.д.).

Для наложения электрического поля на границу раздела удобно использовать планарные структуры металл—окисел—полупроводник, подобные тем структурам, которые служат основными эле-

ментами больших интегральных схем, например, процессоров в наших компьютерах. Для нелинейно-оптических исследований верхний металлический электрод делается полупрозрачным, чтобы излучение накачки дошло до границы раздела окисел—полупроводник, а порожденный границей раздела сигнал на частоте второй гармоники вышел к детектору. На рис.5 приведена экспериментальная зависимость интенсивности отраженной второй гармоники от внешнего напряжения, приложенного к Si—SiO<sub>2</sub>—Cr структуре. Внешнее напряжение  $\varphi_{ext}$  прикладывается между полупрозрачным слоем хрома толщиной 3 нм, напыленным на слой окисла, и алюминиевым электродом, напыленным на обратную сторону кремниевой пластины. Излучение второй гармоники генерируется на границе раздела кремний—окисел кремния в слое, в котором электростатическое поле нарушает инверсионную симметрию кремния. Интенсивность второй гармоники пропорциональна квадрату нелинейной поляризации (в том числе и электроиндуцированному вкладу

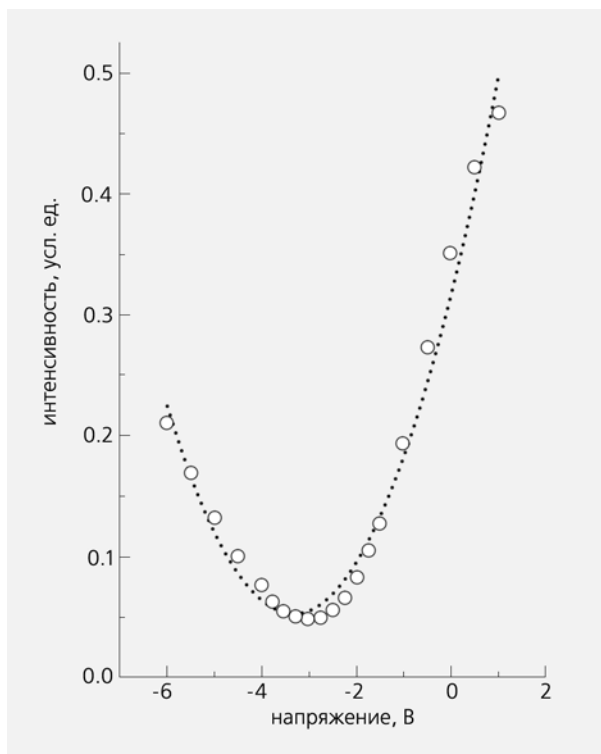


Рис.5. Зависимость интенсивности второй гармоники от величины напряжения, приложенного к структуре металл—окисел—полупроводник (Cr—SiO<sub>2</sub>—Si). Штриховая линия — аппроксимация экспериментальных данных квадратичной параболической зависимостью, сдвинутой по оси напряжений. Сдвиг экспериментальной кривой соответствует потенциалу плоских зон, а небольшие отличия от параболическости связаны с населенностью поверхностных состояний кремния.

в нее), а значит, квадратичной будет и зависимость интенсивности второй гармоники от напряженности электростатического поля в приповерхностном слое. На первый взгляд, эта зависимость выглядит тривиальной: парабола с вершиной при нулевом поле. Однако в эксперименте исследуется зависимость интенсивности второй гармоники от внешнего напряжения  $I_{2\omega}(\varphi_{\text{ext}})$ , а не от поля внутри полупроводника  $E_{\text{st}}$ . Поскольку связь между статическим полем в приповерхностной области полупроводника и внешним напряжением  $E_{\text{st}}(\varphi_{\text{ext}})$  сложным образом зависит от параметров границы раздела, экспериментальная зависимость  $I_{2\omega}(\varphi_{\text{ext}})$  может отличаться от простой параболы с вершиной при  $\varphi_{\text{ext}} = 0$ . Именно это и видно на рис.4: минимум кривой сильно сдвинут от  $\varphi_{\text{ext}} = 0$ , а форма кривой слегка отличается от параболической. Решение обратной задачи позволяет извлечь параметры границы раздела из результатов нелинейно-оптических измерений. Например, сдвиг минимума зависимости  $I_{2\omega}(\varphi_{\text{ext}})$  связан с начальным зарядом границы раздела, приводящим к начальному изгибу зон энергетического спектра полупроводника и появлению поля в приповерхностной области (так называемой области пространственного заряда).

Работы по исследованию генерации электроиндуцированной второй гармоники позволили развить новый нелинейно-оптический метод исследования электрофизических свойств поверхности полупроводниковых материалов и наноструктур.

### ...а теперь магнитное

В отличие от электрического, магнитное поле обладает очень любопытным свойством: оно не нарушает центросимметричности среды, т.е. центросимметричная среда после наложения магнитного поля остается центросимметричной. Однако в *нецентросимметричных* магнитных средах существует магнитоиндуцированная квадратичная нелинейная восприимчивость  $\chi^{(2)}(H)$ . Она-то и приводит к высокой чувствительности параметров излучения второй гармоники к магнитным свойствам поверхности магнитных материалов, магнитных наноструктур и тонких пленок магнетиков. На рис.6 приведена интерференционная картина при сложении полей второй гармоники, генерируемых двумя источниками. Одним из них служит поверхность исследуемого магнетика, а другим — нелинейно-оптический немагнитный кристалл, рассматриваемый в данном случае как источник опорной волны второй гармоники. Сравнение интерференционных картин для двух противоположных направлений внешнего статического магнитного поля свидетельствует: в пленке магнетика магнитным полем индуцируется значительный сдвиг фазы волны второй гармони-

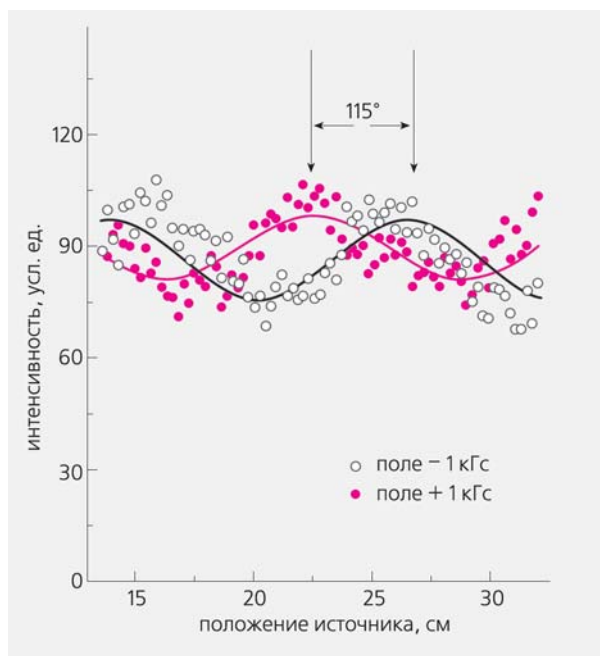


Рис.6. Определение фазы волны второй гармоники, генерируемой в пленках Ленгмюра—Блоджетт с ионами гадолиния. Интерферируют волны второй гармоники от образца и от источника опорной волны при перемещении последнего вдоль направления исходного излучения. При изменении знака (направления) магнитного поля фаза волны магнитоиндуцированной второй гармоники сдвигается на  $115^\circ$ .

ки. В качестве магнитного образца в этих экспериментах использовались монослои ионов гадолиния, нанесенные на твердую подложку методом Ленгмюра—Блоджетт. Величина фазового сдвига волны второй гармоники при перемагничивании монослоев гадолиния, отмеченная на рис.6, может служить количественным параметром для макроскопического магнитного момента, наводимого в таких двумерных структурах магнитным полем.

Методом магнитоиндуцированной второй гармоники мы также исследовали наногранулярные пленки  $\text{Co}_x\text{Ag}_{(1-x)}$ , обладающие гигантским магнитосопротивлением\*\*. При этом была обнаружена замечательная (и до сих пор недостаточно понятная) корреляция между поведением гигантского магнитосопротивления и магнитоиндуцированной второй гармоники. На рис.7 приведены зависимости коэффициента гигантского магнитосопротивления и магнитного контраста второй гар-

\*\* Под гигантским магнитосопротивлением подразумевают изменение омического сопротивления некоторых композитных магнитных материалов при наложении постоянного магнитного поля. Типичное значение относительного изменения сопротивления при этом эффекте составляет 10—15%.

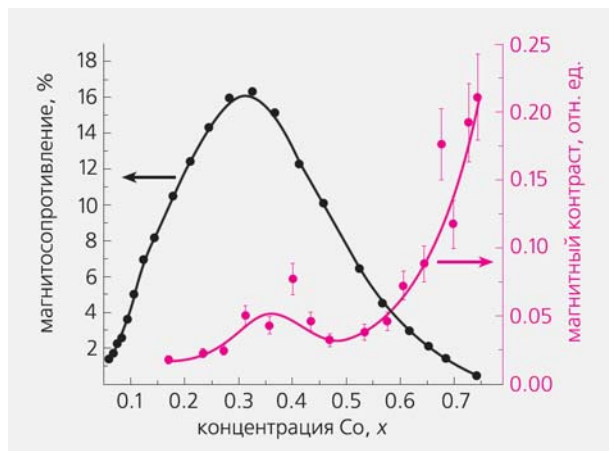


Рис.7. Зависимости коэффициента гигантского магнитосопротивления (левая шкала) и магнитного контраста второй гармоники (цветная кривая, правая шкала) как функции концентрации кобальта в гранулярных пленках  $Co_xAg_{(1-x)}$ . Видна хорошая корреляция локальных максимумов этих параметров.

моники (изменения интенсивности второй гармоники при изменении знака магнитного поля) как функции концентрации кобальта. Локальный максимум обоих параметров достигается приблизительно при одинаковых значениях концентрации кобальта  $x = 0.3-0.35$ . Это может означать, что для обоих эффектов — гигантского магнитосопротивления и магнитоиндуцированной второй гармоники — принципиально важными оказываются структура и качество внутренней границы раздела между магнитными гранулами кобальта и немагнитным материалом матрицы (серебром).

### Если поверхность шероховатая, то вторая гармоника... гигантская!

Высокая чувствительность отраженной второй гармоники к морфологическим свойствам поверхности связана со строгим поляризационным правилом отбора для гладкой однородной поверхности. Это правило запрещает генерацию волны второй гармоники, поляризованной параллельно поверхности, на гладкой изотропной поверхности. На шероховатой поверхности металлов и полупроводников этот запрет нарушается, и величина запрещенной компоненты может служить количественной мерой шероховатости. Экспериментальные исследования нарушения поляризационного запрета при генерации отраженной второй гармоники были сделаны для поверхности серебра с характерным размером поверхностной неоднородности порядка 1 нм. Для контролируемого создания шероховатости поверхность серебра подвергалась последовательным

циклам анодного травления в соответствующем электролите. Мерой эффективной шероховатости можно считать число поверхностных монослоев серебра, участвующих в процессе травления. Зависимость интенсивности «запрещенной» компоненты второй гармоники, поляризованной вдоль поверхности, от числа монослоев серебра показывает (рис.8,а), что уже при травлении одного монослоя Ag «запрещенная» вторая гармоника легко регистрируется. Чтобы определить характер шероховатости, возникающей, когда травлению подвергается столь малое количество вещества, одновременно с исследованием генерации второй гармоники были получены изображения поверхности в сканирующем туннельном микроскопе до и после процесса монослойного травления. Так удалось понять, что шероховатость создают редкие группы «шариков» серебра с характерными размерами 2–3 нм (рис.8,б).

Именно эти поверхностные образования работают как источники наблюдаемой гигантской «запрещенной» второй гармоники. Термин «гигантская» использован здесь не случайно: генерируемая такой шероховатой поверхностью вторая гармоника на несколько порядков превосходит по интенсивности разрешенную вторую гармонику на гладкой поверхности. Такое усиление связано с тем, что в «шариках» металла, расположенных на поверхности образца, под действием света накачки возбуждаются коллективные дипольные колебания электронов. Электрическое поле таких дипольных возбуждений многократно усиливает внутреннее (как еще говорят, локальные) световые поля [4]. Действительно, простейшей электродинамической моделью элемента шероховатости может служить сфера в поле световой волны  $E(\mathbf{r},t) = E_0 \sin(\omega t - \mathbf{k}\mathbf{r})$  с амплитудой напряженности поля  $E_0$ . Если диаметр сферы много меньше длины волны, простое решение электростатической задачи дает для напряженности поля (теперь уже локального поля,  $E_{loc}$ ) внутри сферы выражение

$$E_{loc}(\omega) = \frac{3}{\epsilon(\omega) + 2} E_0,$$

где  $\epsilon(\omega)$  — диэлектрическая проницаемость материала сферы. В обычном («нормальном») диэлектрике, в котором в видимом диапазоне  $\epsilon(\omega) \approx 2 > 0$ , «локальные» поправки к внешнему полю незначительны. Совершенно иное дело для металлической сферы: для металлов всегда существует диапазон частот  $\omega$ , в котором  $\epsilon(\omega) < 0$ . При некоторой частоте, иногда называемой резонансной,  $\epsilon(\omega_{res}) = -2$  и напряженность локального поля  $E_{loc}(\omega_{res})$  многократно возрастает. Вот это локальное поле теперь-то и служит накачкой для генерации второй гармоники. Это значит, что усиление интенсивности второй гармоники, которая пропорциональна четвертой степени поля накачки, может достигать нескольких порядков.



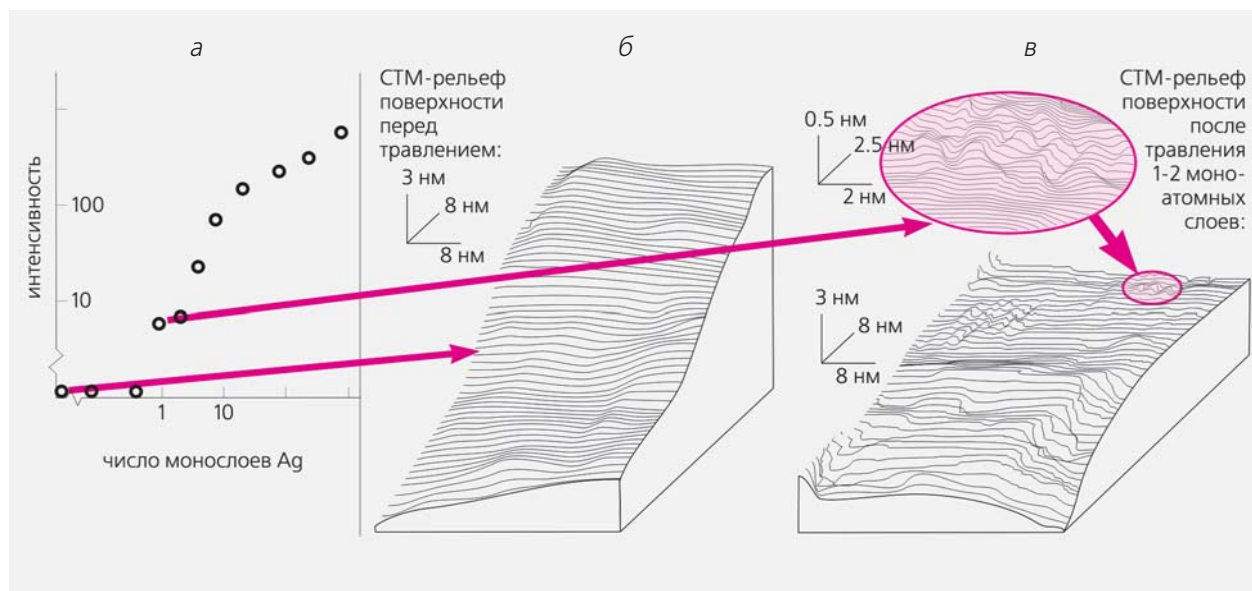


Рис.8. Зависимость интенсивности «запрещенной» компоненты второй гармоники от числа монослоев серебра (а). Изображения поверхности в сканирующем туннельном микроскопе после процесса монослойного травления (в). Видны нанометровые кластеры серебра. Приведено также изображение поверхности до травления, на которой «запрещенная» вторая гармоника действительно отсутствует (б).

\* \* \*

Какова современная ситуация с применением нелинейно-оптических методов для исследования поверхности твердого тела и твердотельных наноструктур? Нужно сказать, что в восьмидесятилетие такие перспективы выглядели достаточно призрачными в силу практически непреодолимых технических сложностей. Однако когда перестраиваемые по длине волны твердотельные лазеры с фемтосекундной длительностью импульсов в видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра стали широко доступны, ситуация принципиальным образом изменилась. Излучение таких лазеров

(в наиболее известном из них рабочим веществом служит сапфир с примесью атомов титана), с одной стороны, обладает громадной плотностью мощности, что инициирует даже весьма слабые поверхностные нелинейно-оптические эффекты, а, с другой стороны, из-за малой длительности импульса  $\tau \approx 10^{-14}$  с не разрушает поверхность исследуемых образцов. К настоящему времени нелинейная оптика превратилась в весьма развитый инструмент экспериментального исследования электронных, магнитных, сегнетоэлектрических, электрофизических, структурных и морфологических свойств поверхности. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 04-02-99110-с и 04-02-16847-а.

## Литература

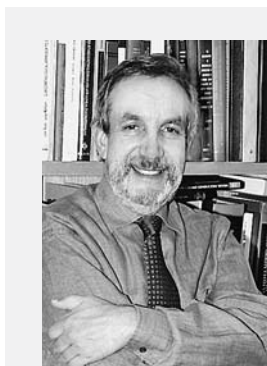
1. Делоне Н.Б. // Соросовский образовательный журнал. 1997. №3. С.94—99.
2. Келдыш Л.В. Таммовские состояния и физика поверхности твердого тела // Природа. 1985. №9. С.17—33.
3. Heinz T.F., Loy M.M.T., Thomson W.A. // Phys. Rev. Lett. 1985. V.51. P.63.
4. Емельянов В.И., Коротеев Н.И. // Успехи физических наук. 1981. Т.135. С.345—361.

# Создание биологического водителя ритма сердца

М.Розен

По смертности сердечно-сосудистые заболевания по-прежнему занимают ведущее положение в мире. Одни из самых распространенных сердечных патологий — аритмии, причинами которых могут быть различные функциональные и органические поражения миокарда (прежде всего инфаркт, ишемическая болезнь, врожденные или приобретенные пороки сердца и т.д.). В нормально работающем сердце ритмические сокращения миокарда происходят под действием импульсов, которые спонтанно зарождаются в клетках сино-атриального узла (рис.1). Иначе он называется первичным водителем ритма, или пейсмекером (англ. pacemaker — задающий ритм). От него возбуждение распространяется по предсердиям, заставляя их синхронно сокращаться и перекачивать кровь в желудочки, и доходит до атрио-вентрикулярного узла. Далее электрический импульс через пучок Гиса достигает его конечных разветвлений — волокон Пуркинье — и вызывает сокращение желудочков, вследствие чего кровь изгоняется из сердца в органы и ткани организма.

Если по той или иной причине возбуждение сино-атриаль-



**Майкл Розен (Michael R. Rosen)**, доктор медицины, директор Центра молекулярной терапии Колумбийского университета (Нью-Йорк) и Института молекулярной кардиологии Университета Нью-Йорка. Область научных интересов — кардиология и клеточная электрофизиология сердца, молекулярная и клеточная биология.

ного узла не возникает либо не может перейти на предсердие, его роль выполняют пейсмекеры второго порядка, локализованные в предсердии или в атрио-вентрикулярном соединении. При полной поперечной блокаде, когда проведение возбуждения от предсердий к желудочкам полностью нарушено, включаются пейсмекеры, расположенные в проводящей системе желудочков. Если и этого не происходит, то прекращение кровообращения в результате остановки желудочков может привести к необратимому повреждению мозга и даже смерти.

При полном нарушении автоматизма сердца возбудимость миокарда все же сохраняется в течение некоторого времени, и тогда на помощь приходят искусственные водители ритма —

кардиостимуляторы. Хотя за почти полувековое использование (первый портативный водитель сердечного ритма с батарейным питанием был разработан в 1957 г.) электронные пейсмекеры проявили себя очень хорошо, тем не менее у них есть ряд недостатков. Во-первых, они не регулируют реакцию сердечной мышцы на физические и эмоциональные нагрузки. Во-вторых, в случае, когда, например, болен ребенок, имеет значение масса кардиостимулятора и размеры его электродов, которые зачастую не соответствуют росту и развитию пациента. В-третьих, из-за локализации пейсмекерного электрода в сердце не всегда удается добиться оптимальной активации возбуждения и сокращения. В-четвертых, искусственные води-

© Розен М., 2005

тели ритма периодически должны тестироваться и требуют замены батареек каждые 5–10 лет, т.е. практически повторной операции. И наконец, некоторые приборы (в том числе и медицинские — например, томографы) могут влиять на работу электронного пейсмекера.

Словом, как бы ни были хороши даже самые современные кардиостимуляторы, поиск альтернативы необходим. Одно из перспективных решений — биологический водитель ритма, который может работать неограниченное время, отвечать на физиологические команды, меняя сердечный ритм в зависимости от условий и активируя сердце с учетом специфики заболевания любого человека. Активное развитие в последнее десятилетие генной и клеточной терапии позволяет надеяться, что такой биологический пейсмекер будет создан и в кардиологии появится новый способ лечения аритмий [1].

Во всех исследованиях по созданию биологических пейсмекеров применялись два подхода: введение специфических генов в составе плазмидных или вирусных векторов и использование различных типов стволовых клеток. При планировании работ принимались во внимание следующие характеристики сино-атриального узла:

- слагающие его клетки специализированы, т.е. предназначены для инициации сердечных сокращений [2];

- спонтанная генерация импульсов соответствует физиологическим и эмоциональным потребностям организма, что обусловлено взаимодействием ионных каналов и насосов [3];

- распространение импульсов должно быть оптимальным для активации сокращения.

При разработке стратегии исследований учитывалось, что формирование спонтанных импульсов в сино-атриальном узле происходит в результате активации специального тока  $I_f$ , каналы которого открыты более сот-

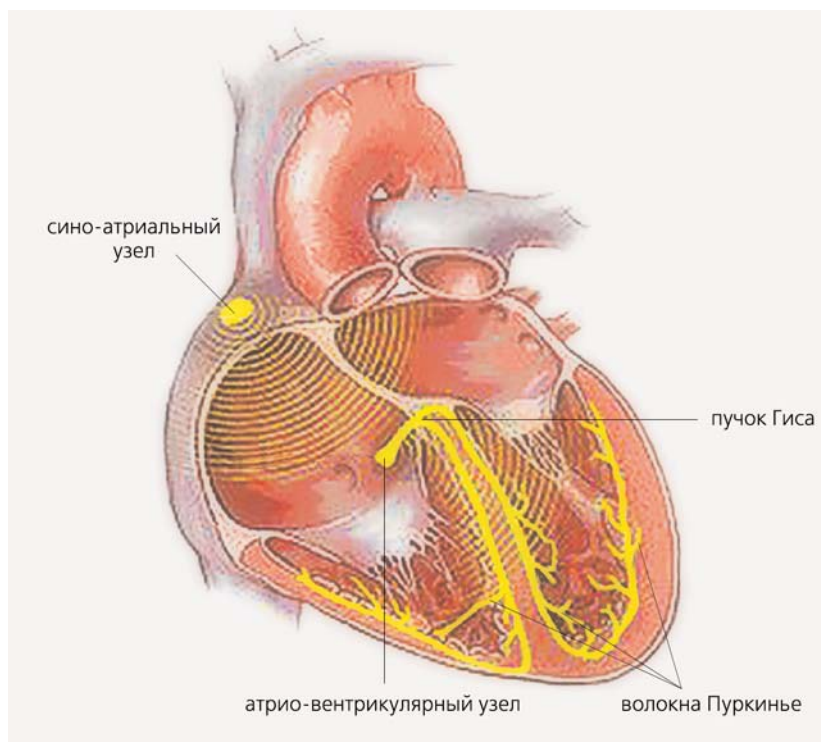


Рис. 1. Схема расположения водителя ритма и проводящей системы в сердце.

ни миллисекунд, а изменение этого тока во времени хорошо подстраивает ритм сердца [4, 5]. В пейсмекерный ток вносят вклад и входящие (например,  $I_{Na}$ ), и выходящие ( $I_K$ ) токи, а также их взаимодействие, при котором увеличение входящего тока и/или уменьшение выходящего приводит к учащению ритма сердца [3, 6–10].

## Генная терапия

Влияние на автоматизм сердца симпатической нервной системы, которое опосредовано действием ее медиаторов (адреналина и норадреналина), хорошо изучено. В связи с этим первые работы по созданию биологических пейсмекеров были направлены на активацию  $\beta$ -адренорецепторов, что приводит к фосфорилированию мембранных белков и усилению входящих токов. Исследователи надеялись добиться повышения ав-

томатизма сердца в результате введения в предсердие свиньи специально сконструированного плазмидного вектора с геном, кодирующим  $\beta_2$ -адренорецептор [11, 12]. Действительно, ритм предсердий стал достоверно выше исходного уровня. Казалось, путь к успеху проложен, однако эффект длился всего около 24 ч, и не было уверенности, что, продолжая исследования в этом направлении, можно добиться устойчивой работы водителя ритма. Неясно было даже, что в данном случае произошло — коррекция существующей пейсмекерной активности или формирование новой.

Следующим шагом стали эксперименты, в которых попытались воздействовать на выходящий, гиперполяризующий ток  $I_{K1}$  [13, 14]. Для этих целей использовали аденовирусный вектор со встроенным мутантным геном Kir 2.1, кодирующим одну из белковых субъединиц калиевого канала [13]. Эту генную



конструкцию вводили в полость левого желудочка морской свинки, что привело спустя 3–4 дня к подавлению калиевого тока  $I_{K1}$  на 80%. В течение этого времени спонтанный ритм регистрировался на электрокардиограмме, и потенциалы действия кардиомиоцитов выявили его высокий уровень. Главный недостаток такого подхода заключается в том, что подавление тока  $I_{K1}$  само по себе могло стать причиной аритмии. К тому же неясно, какой из входящих токов обеспечивал пейсмерную функцию сердца в данном случае, поэтому последствия таких работ непредсказуемы [15].

Стратегия экспериментов, проведенных в нашей лаборатории, была направлена на повышение интенсивности пейсмерного тока  $I_f$  (или тока автоматизма), который в норме генерируется только в клетках сино-атриального узла. Этот смешанный ток (формируется как ионами натрия, так и ионами калия) уникален по своей природе, так как это единственный ток, который не увеличивает длительности потенциала действия и регулируется автономной нервной системой [16, 17]. Известно также, что каналы, пропускающие  $I_f$ , состоят из белков семейства HCN (Hyperpolarization activated, Cyclic Nucleotide gated — активируются гиперполяризацией, а состояние ворот — открытие и закрытие — зависит от циклических нуклеотидов). Ген HCN2 встроили в аденовирусный вектор и ввели в клеточную культуру, что привело не только к повышению  $I_f$ , но и значительному увеличению количества бьющихся клеток [18]. Более того, при воздействии на них изопротеренолом (синтетическим аналогом катехоламинов) эти клетки отвечали положительным хронотропным эффектом (ускорением сердечного ритма) и отрицательным хронотропным эффектом на ацетилхолин, как обычно и происходит в здо-

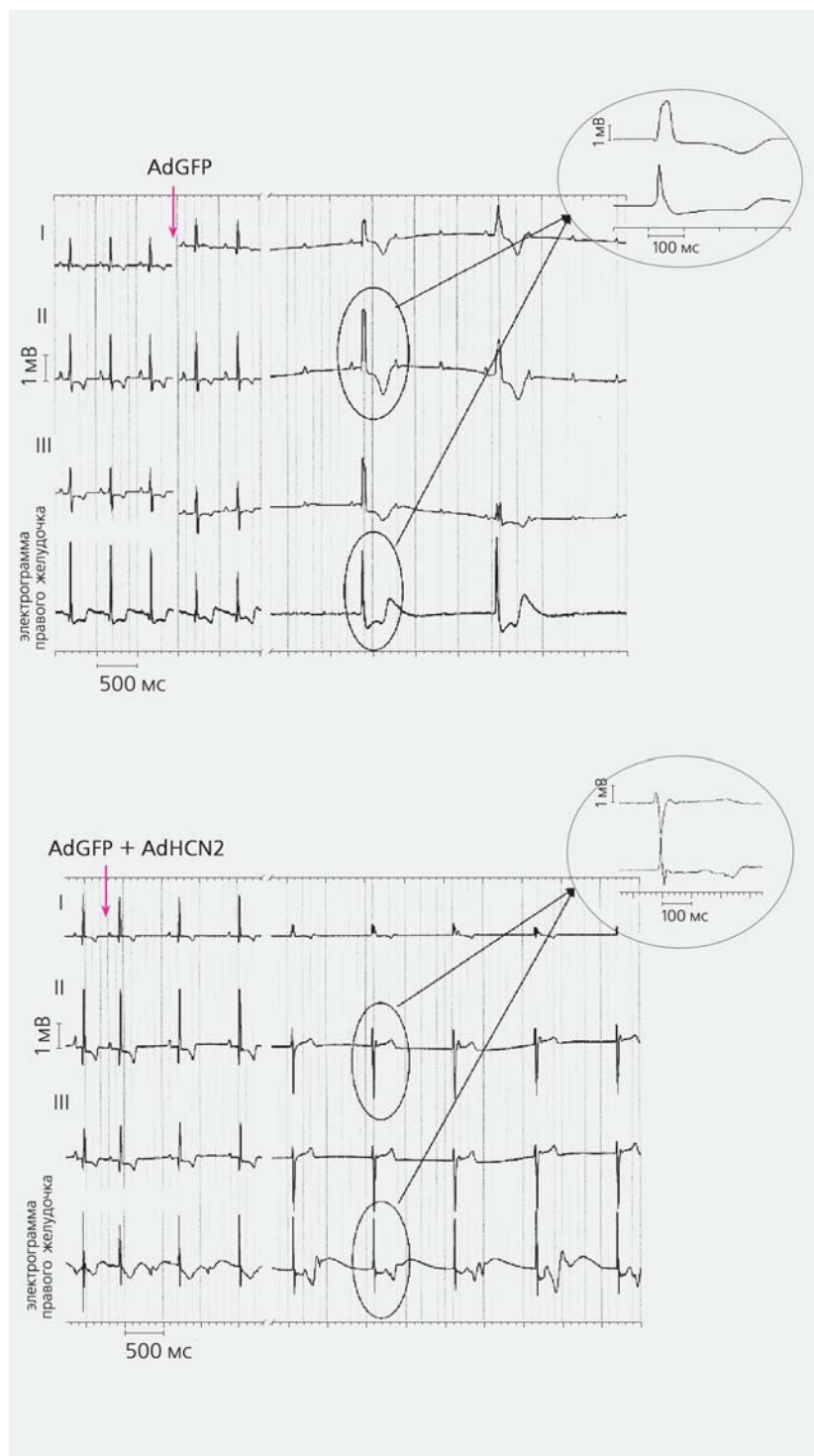


Рис. 2. ЭКГ собак, которым вводили аденовирусные конструкции с геном GFP (верхняя запись) и генами GFP и HCN2 [21]. До инъекции синусовый ритм у обеих собак был примерно одинаков. После его угнетения, что было вызвано стимуляцией блуждающего нерва (время стимуляции отмечено стрелками), возникал идиовентрикулярный ритм, причем у животного, которому вводили оба гена, он был учащенным и возникал быстрее по сравнению с контролем. На увеличенных фрагментах записей видно, что в первом случае (AdGFP + AdHCN2) возбуждение зарождается в левом желудочке, а во втором (AdGFP) — в правом.

ровом организме. Значит, эти клетки потенциально способны отвечать на физиологические команды [19].

Эксперименты продолжили на собаках, которым с помощью катетера вводили в левое предсердие аденовирусную конструкцию — AdHCN2 и AdGFP (GFP — green fluorescent protein — зеленый флуоресцирующий белок, ген которого используется для синтеза цветной «метки»). Затем стимуляцией блуждающего нерва (под наркозом) добились угнетения синусового ритма. Спустя четыре дня в области инъекции аденовируса возник новый ритм, чего не происходило у контрольных животных, которым вводили только AdGFP или физиологический раствор [20]. Более того, в дезагрегированных клетках сердечной мышцы, полученных из места инъекции, выявлен пейсмекерный ток в 100 раз большей плотности по сравнению с нативными кардиомиоцитами.

Повторное введение AdHCN2 в желудочковую проводящую систему тех же собак спустя четыре—семь дней при угнетении синусового ритма приводила к появлению в месте инъекции устойчивого ускользящего ритма — около 60 ударов в минуту, более частого по сравнению с контролем (рис.2) [21]. Повышенная экспрессия HCN2 подтверждена с помощью иммунохимических и биофизических методов [22].

Безусловно, из всех перечисленных подходов генной терапии обнадеживают только результаты последнего, поскольку только в этом случае возникал стабильно ускользящий идиовентрикулярный (собственно желудочковый) ритм приемлемого физиологического уровня и получены доказательства ответов вызванного ритма на активацию автономных нервов и их медиаторов. И все же выбранная стратегия вызывает некоторые сомнения, так как после прекращения синусового

ритма и до появления идиовентрикулярного проходит от 5 до 30 с, что с клинической точки зрения недопустимо. Неясно также, удастся ли с помощью инъекции аденовирусной конструкции добиться продолжительной активности или она будет сохраняться лишь дни или недели. Сомнения вызваны кратковременной экспрессией гена, что связано со свойствами аденовируса, в который его встраивают. Дело в том, что в ядре клетки-мишени геном аденовируса существует преимущественно в эписомальной форме, т.е. в виде кольцевых внехромосомных молекул, которые в каждом цикле деления подвергаются репликации с помощью ДНК-полимеразы клетки. Вирусная ДНК может встраиваться в линейной форме в геном инфицированной клетки, тем не менее число эписомальных копий вирусной ДНК будет значительно больше, чем интегрированных, что активизирует иммунную систему и приведет к возвращению преобразованной клетки в исходное состояние. Кроме того, аденовирусы — причина обычной простуды, поэтому, возможно, некоторые люди будут уже иметь достаточно высокие уровни антител к аденовирусному капсиду (покрывающему белку), что затруднит попадание AdHCN2 в клетку. Другие вирусные векторы, например, РНК-содержащие ретровирусы, хотя и обладают некоторыми преимуществами (эффективностью передачи, геномной интеграцией, стойкой экспрессией) потенциально патогенны, поскольку обладают онкогенными последовательностями.

## Клеточная терапия

Открытие способности эмбриональных стволовых клеток трансформироваться по меньшей мере в 350 различных типов клеток послужило толчком к активному их изучению и открыло перспективы их исполь-

зования в биологии и медицине, в том числе и кардиологии. Однако предстояло научиться идентифицировать и выделять клетки-предшественники, которые после дифференцировки могут стать клетками необходимой линии. Опубликованные в 1999 г. в «Science» результаты экспериментов Д.Томсона и Дж.Беккера, которым удалось выделить человеческие эмбриональные стволовые клетки и получить первые линии специализированных клеток, были признаны третьим по важности событием (после открытия двойной спирали ДНК и расшифровки генома человека) в биологии ушедшего столетия.

Когда выяснилось, что определенные подтипы эмбриональных стволовых клеток генерируют импульсы, сходные со спонтанными импульсами истинных водителей ритма, попытались использовать эти клетки в качестве биологических пейсмекеров [22]. Но и здесь возникло немало проблем. Во-первых, поскольку незрелые эмбриональные стволовые клетки после прекращения дифференцировки могут утратить пейсмекерные характеристики, было бы большим достижением, если бы удалось остановить развитие полученных кардиомиоцитов на стадии сино-атриальных клеток.

Во-вторых, важно выяснить, какие каналы определяют спонтанный ритм пересаженных клеток, и убедиться, что это именно те каналы, которые обеспечивают работу истинных водителей ритма в сердце человека. Кроме того, надо знать, как созданная конструкция будет отвечать на стимуляцию вегетативных нервов, т.е. определить чувствительность новых кардиомиоцитов к автономным нервным воздействиям. Эти вопросы возникли в связи с потенциальной аритмогенностью создаваемых водителей ритма [23]. Ответив на эти вопросы, можно понять: развитие аритмии в данном случае — артефакт (напри-

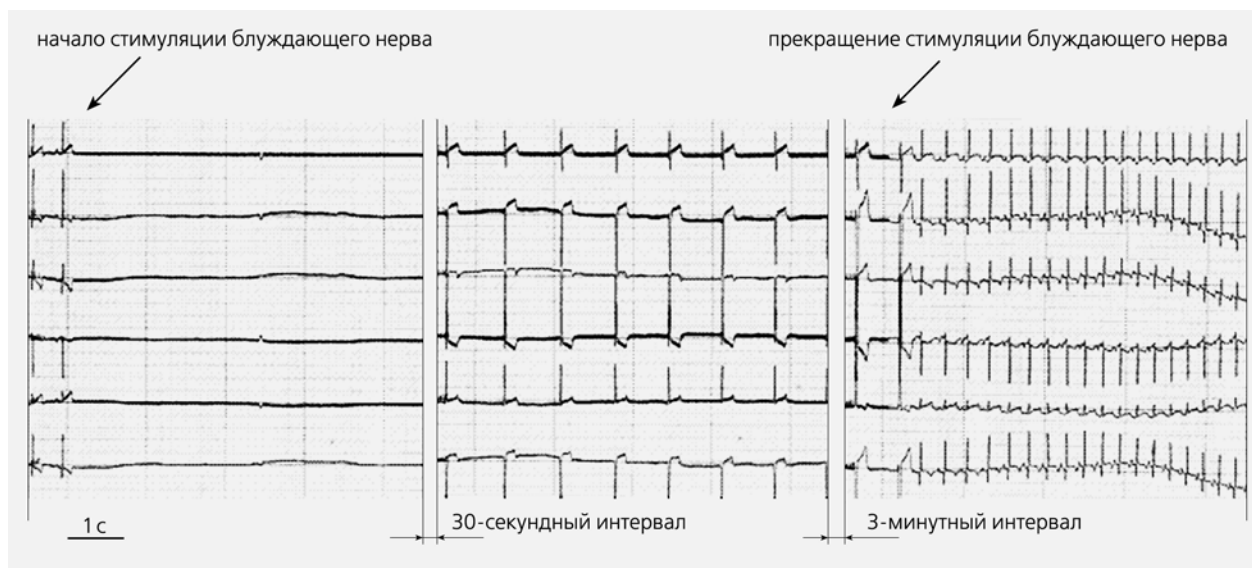


Рис.3. ЭКГ собаки спустя пять дней после имплантации мезенхимальных стволовых клеток человека, содержащих гены GFP и HCN2, в эпикард ее левого желудочка [26]. Слева направо: синусовый ритм до и после начала стимуляции блуждающего нерва, идиовентрикулярный ритм во время вагусной стимуляции и восстановление синусового ритма после прекращения стимуляции блуждающего нерва.

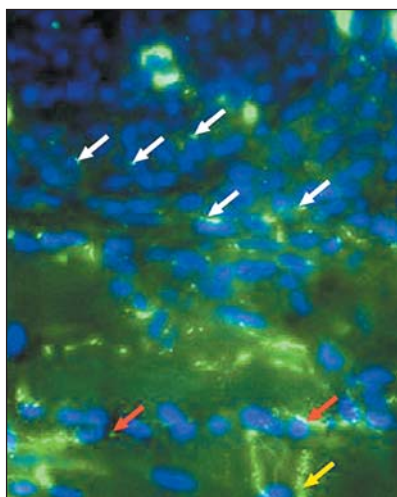


Рис.4. Микрофотография гистологического среза миокарда собаки, которой имплантировали человеческие стволовые клетки с экспрессированным геном HCN2 [26]. Белыми стрелками показаны щелевые контакты, образовавшиеся между стволовыми клетками, красными — между стволовыми клетками и кардиомиоцитами, фиолетовой стрелкой отмечено место пролиферации стволовых клеток (интеркалярный, или вставочный диск).

мер, следствие экспериментальных манипуляций) или потенциально опасное свойство биологических пейсмекеров, созданных на основе эмбриональных стволовых клеток. И наконец, не решена проблема иммунного ответа организма на присутствие завершивших дифференцировку клеток. В этом отношении более перспективны, на наш взгляд, мезенхимальные стволовые клетки, которые, как и эмбриональные, полипотентны (т.е. способны дифференцироваться в ряд клеточных линий, включая клетки скелетных мышц и клетки соединительной ткани), но при этом, по-видимому, обладают «иммунопривилегированностью» — на последних стадиях развития не вызывают существенного иммунного ответа [24].

Изначально стволовые клетки были обнаружены в костном мозге взрослого организма (точнее, в мезенхиме, или строме, костного мозга). Впоследствии оказалось, что они присутствуют практически во всех органах взрослых животных и человека; тем не менее обычно их

выделяют из костного мозга. Таким образом, появилась заманчивая перспектива: создание банка мезенхимальных стволовых клеток для клеточной терапии различных патологий. В случае, когда по каким-либо причинам нельзя использовать донорские стволовые клетки, их источником может служить собственный костный мозг пациента. Однако до того как это будет введено в практику, необходимо более тщательно изучить биобезопасность, в частности «иммунопривилегированность», стволовых клеток.

Мы рассматривали мезенхимальные стволовые клетки взрослого человека в качестве основного экспериментального материала. Прежде всего нас привлекли стабильность клеточных линий и их низкая антигенность. Однако мезенхимальные стволовые клетки человека не способны генерировать пейсмекерный ток  $I_f$ , поэтому необходимо было нагрузить их геном HCN2, который, напомним, отвечает за трансляцию синтеза белков, формирующих и переносящих  $I_f$ . Сдела-



но это было с помощью метода электропорации: клетки поместили в пульсирующее электрическое поле, благодаря чему временно открывались поры в клеточной мембране, через которые мог проникнуть вирусный переносчик со встроенным геном HCN2; при этом эффективность заражения составляла 35–45% [25].

Модифицированные человеческие стволовые клетки с экспрессированным геном HCN2 были пересажены в небольшую область эпикарда левого желудочка собак [25]. Через неделю у них на фоне угнетения ритма сино-атриального узла развились ритмы ускользания с частотой 60 возбуждений в минуту (рис.3). Локализация источника ритма в месте имплантации стволовых клеток определялась с помощью метода флуоресцентного оптического картирования\*.

Гистологические исследования показали, что пересаженные в миокард собаки мезенхимальные стволовые клетки человека сформировали между собой и с желудочковыми миоцитами так называемые щелевые контакты — каналы белки, переносящие электрический

ток между сопряженными клетками (рис.4) [26]. Полученный пейсмекерный ток проявлял типичные для него свойства: активизировался при гиперполяризации клетки, отвечал на катехоламины и ацетилхолин и блокировался цезием [25].

Итак, мезенхимальные стволовые клетки взрослого человека, судя по всему, можно использовать в качестве субстрата для формирования сино-атриального узла, что было подтверждено в экспериментах на собаках. Но прежде, чем дойдет очередь до человека, предстоит сделать еще очень многое. Например, проверить *in situ* чувствительность биологического водителя ритма к автономным нервным воздействиям, сравнить длительность функции созданного биологического пейсмекера и его эффективность с соответствующими параметрами электрокардиостимулятора, проверить на токсичность и тератогенность. Кроме того, выяснить, задержатся ли используемые генные конструкции и клетки именно там, куда их ввели, или мигрируют. Неизвестно также, останутся ли стволовые клетки после трансплантации дискретными и/или

дифференцируются в другие клеточные типы, и не будут ли они отторгаться. И наконец, надо устранить главный недостаток биологических пейсмекеров, проявившийся как в экспериментах с использованием аденовирусных конструкций, так и стволовых клеток, несущих ген HCN2, — сократить интервал между остановкой синусового ритма и до возникновения идиовентрикулярного (в идеале он должен длиться одну—две секунды).

До тех пор, пока не удастся ответить на все эти вопросы, рано говорить о практическом применении биологических водителей ритма и отказываться от электронных пейсмекеров — главного достижения 20-го столетия в лечении заболеваний проводящей системы сердца. Тем не менее есть все основания надеяться, что не за горами то время, когда с помощью генной и клеточной терапии будут решаться многие проблемы в различных областях медицины, и только наше воображение может ограничить применение этих методов. ■

Перевод академика  
**Л.В.Розенштрауха**

**Работа выполнена при поддержке USPHS-NHLBI (проекты № HL-28958, HL-67101, HL-20559, GM-55263) и отмечена премией «Heritage», учрежденной Американской ассоциацией сердца (American Heart Association).**

\* «Оптические измерения трансмембранного потенциала были задуманы американским исследователем Л.Козном. Идея основана на свойствах специально синтезированных молекул-флуорофоров, которые, связавшись с клеточной мембраной, способны поглощать и излучать свет с эффективностью, зависящей от величины электрического поля, в котором находится эта молекула. Таким образом, осветив сердце, прокрашенное флуорофором, можно оптически измерить кинетику трансмембранного потенциала по изменениям интенсивности или длины волны флуоресценции. Более того, используя современные методы двухмерной регистрации света, можно составлять карты изменения трансмембранного потенциала на поверхности сердца. Оптическая природа измерений позволяет изменять пространственное разрешение картирования сигналов путем простой замены оптического увеличения. В настоящее время картирование трансмембранного потенциала осуществляется в широком диапазоне пространственного масштаба: от единичной клетки до целого сердца». (Ефимов И.Р., Самбелашвили А.Т., Никольский В.Н. // Вестник аритмии. 2002. №26. С.91–96.) — *Примечред.*

## Литература

1. Zivin A., Bardy G.H. Cardiac pacemakers // Foundations of Cardiac Arrhythmias / Eds. P.M.Spooner, M.R.Rosen. N.Y., 2001. P.571–598.
2. Hoffman B.F., Cranefield P.F. Electrophysiology of the Heart. N.Y., 1960.
3. DiFrancesco D. // J. Physiol. 1981. №314. P.377–393.
4. DiFrancesco D. // J. Physiol. 1982. №329. P.485–507.
5. Brown H.F., Kimura J., Noble D. // Proc. R. Soc. Lond. B. 1984. №222. P.329–347.
6. Hagiwara N., Irisawa H., Kameyama M. // J. Physiol (Lond). 1988. №395. P.233–253.



7. Hagiwara N., Irisawa H., Kasanuki H. // J. Physiol (Lond). 1992. №448. P.53—72.
8. Noma A., Irisawa H. // Jpn J. Physiol. 1975. №25. P.287—302.
9. Ono K., Ito H. // Am. J. Physiol. 1995. №269. P.H453—H462.
10. Li J., Qu J., Naibán R.D. // Am. J. Physiol. 1997. №273. P.H2481—H2489.
11. Edelberg J.M., Aird W.C., Rosenberg R.D. // J. Clin. Invest. 1998. №101. P.337—343.
12. Edelberg J.M., Huang D.T., Josephson M.E., Rosenberg R.D. // Heart. 2001. №86. P.559—562.
13. Miake J., Marbán E., Nuss H.B. // Nature. 2002. №419. P.132—133.
14. Miake J., Marbán E., Nuss H.B. // J. Clin. Invest. 2003. V.111. №10. P.1529—1536.
15. Silva J., Rudy Y. // Circ. Res. 2003. №92. P.261—263.
16. Santoro B., Liu D.T., Yao H. et al. // Cell. 1998. №93. P.1—20.
17. Ludwig A., Zong X., Jeglitsch M. et al. // Nature. 1998. №393. P.587—591.
18. Qu J., Barbuti A., Protas L. et al. // Circ. Res. 2001. №89. P.E8—E14.
19. Rosen M.R., Brink P.R., Cohen I.S. et al. // Cardiovasc. Res. 2004. V.64. №1. P.12—23.
20. Qu J., Plotnikov A.N., Danilo P.Jr. et al. // Circulation. 2003. №107. P.1106—1109.
21. Plotnikov A.N., Sosunov E.A., Qu J. et al. // Circulation. 2004. №109. P.506—512.
22. Gepstein L. // Circ. Res. 2002. №91. P.866—876.
23. Zhang Y.M., Hartzell C., Narlow M. et al. // Circulation. 2002. V.106. №10. P.1294—1299.
24. Liechty K.W., MacKenzie T.C., Sbaaban A.F. et al. // Nat. Med. 2000. V.6. №11. P.1282—1286.
25. Potapova I., Plotnikov A., Lu Z. et al. // Circ. Res. 2004. V.94. №7. P.952—959.
26. Valiunas V., Doronin S., Valiuniene L. et al. // J. Physiol. 2004. V.555. №3. P.617—626.

## Космология

### Проверка общей теории относительности

20 апреля 2004 г. с американского космодрома Ванденберг (штат Калифорния) ракета «Delta II» вывела на полярную орбиту (высота над Землей 640 км) спутник «Einstein Gravity Probe B». Цель эксперимента — проверка общей теории относительности Эйнштейна, согласно которой пространство—время искривлено, что может быть подтверждено или опровергнуто путем измерений данного фактора в ходе перемещения Земли в космосе.

Четыре охлаждаемых жидким гелием гироскопа на борту спутника, измеряющих ориентацию с точностью 0.1 мс дуги, регистрируют прецессию (относительное изменение направления земной оси), происходящую при искривлении пространства—времени в случае справедливости данной теории. Космический зонд «Einstein» медленно вращается вокруг оси, которой служит прямая, направленная на звезду IM

в созвездии Пегаса, находящуюся «под наблюдением» специального телескопа.

Результаты эксперимента, который продлится около года, пока на спутнике не исчерпаются запасы жидкого гелия, с нетерпением ожидают физики, астрономы, геофизики, специалисты по космологии и даже философы.

Spaceflight. 2004. V.46. №6. P.231 (Великобритания).

## Гидрология

### Аэроледомер

Исследования ледяного покрова рек предпочтительно вести дистанционными методами, в частности с помощью радиолокации. Этот метод разработан для изучения слабопоглощающих геологических сред. В нем используются электромагнитные волны, отраженные от границ раздела сред с различными электрофизическими свойствами. Сотрудники Якутского управления гидрометслужбы (Якутск) разработали на базе георадиолокатора ОКО-М1 макет аэроледомера и провели

его испытания в период формирования ледяного покрова рек.

Влияние снежного покрова и торосов на результаты радиолокационных зондирований проверялось на участке р.Лены протяженностью 1300 м. Установлено, что толщина льда меняется в пределах 125—178 см, причем его мощность увеличивается от береговых зон к фарватеру. Сигнал, отраженный от границы воздух—снег, в три-четыре раза слабее сигнала, отраженного от границы снег—лед. Следовательно, снежный покров не препятствует радиолокационным измерениям. По сравнению с данными ручных измерений мощность льда при радиолокации фиксируется с погрешностью всего около 1%.

Испытания аэроледомера по определению внутриводного льда проводились на р.Лене. Результаты радиолокации на участках с наличием внутриводного льда толщиной 1—2 м были подтверждены непосредственными измерениями, что доказало перспективность метода.

Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 1. СПб., 2004. С.33—34 (Россия).

# Ледовая летопись: пример расшифровки с помощью изотопных трассеров

А.Ю.Леин, А.С.Саввичев, М.О.Лейбман, Д.Д.Передня

**О**громный информационный потенциал льдов еще очень мало реализован. Во Всемирной программе исследований климата среди главных компонентов климатической системы Земли перечислены атмосфера, гидросфера, литосфера и криосфера. Последняя содержит летопись событий, происходивших во всех перечисленных сферах (и еще в биосфере), поскольку состоит из влаги, заимствованной из атмосферы или гидросферы (океан, подземные воды), а твердая составляющая льдов связана с литосферой.

Интерес к криосфере, особенно к арктическим льдам, с каждым годом возрастает, и в первую очередь из-за грядущего освоения северных территорий с их крупными запасами нефти, газа и различного минерального сырья. Есть и другая сторона такого возрастающего интереса, касающаяся сохранения биосферы и выживания людей на Земле. Имеется в виду угроза климатических катастроф, пока еще локальных, но участвовавших в последние десятилетия, что обычно связывают с деятельностью человека.

Все сказанное заставляет по-новому взглянуть на проблему изучения криосферы в целом и отдельных ее составляющих: мерзлотных пород, поверхностных и подземных льдов и др.

© Леин А.Ю., Саввичев А.С., Лейбман М.О., Передня Д.Д., 2005



**Алла Юльевна Леин**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН. Круг научных интересов охватывает биогеохимические и геохимические исследования циклов углерода и серы. Наш постоянный автор.



**Александр Сергеевич Саввичев**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института микробиологии им.С.Н.Виноградского РАН. Область научных интересов — общая микробиология.



**Марина Оскаровна Лейбман**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института криосферы Земли СО РАН, специалист по криогенным склоновым процессам и их геоэкологическим последствиям.



**Дмитрий Дмитриевич Передня**, аспирант того же института. Область научных интересов — мерзлота, пластовые льды, геоэкология.

Вопрос об их генезисе все еще остается остро дискуссионным.

Наряду с классическими гео-криологическими методами в последние два десятилетия стали использовать иные, в частности изотопно-геохимические методы. Так, уже 15 лет продолжают исследовать изотопного состава кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и дейтерия ( $\delta\text{D}$ ) во влаге подземных льдов [1]. Но и этот метод при всей его полезности не всегда отвечает на вопрос о генезисе льдов.

Мы попытались с помощью изотопов серы и углерода получить новую информацию о составе и генезисе подземных ледовых льдов, широко развитых на арктическом побережье России, от Югорского п-ова до Чукотки.

Было проведено изучение стабильных изотопов серы сульфат-иона в расплавах льда для определения источника влаги (атмосферная, морская или подземная вода), а также изотопного состава  $\text{C}_{\text{орг}}$  — для установления источника взвеси [2, 3]. Кроме того, к решению вопроса о генезисе ледовых льдов впервые были привлечены радиоизотопные ( $^{14}\text{C}$ ) и микробиологические исследования [4, 5].

Цель нашей работы — сравнить типовые разрезы подземных ледовых льдов и покровных ледниковых льдов Арктики для выявления их сходства и различий.

Материал для исследования отбирался в 2001—2003 гг. из двух обнажений ледовых льдов, расположенных на Чукотке и на Югорском п-ове, и из трех обнажений покровных льдов на островах Колгуев, Новая Земля и Шпицберген. Материал с архипелага Шпицберген частично передан нам сотрудницей «Университетских курсов на Свальбарде» Х.Кристиансен (H.Christiansen). Всего изучено 52 пробы льдов [2, 4].

К ледовым льдам обычно относят залежи подземного льда мощностью от одного до нескольких десятков метров

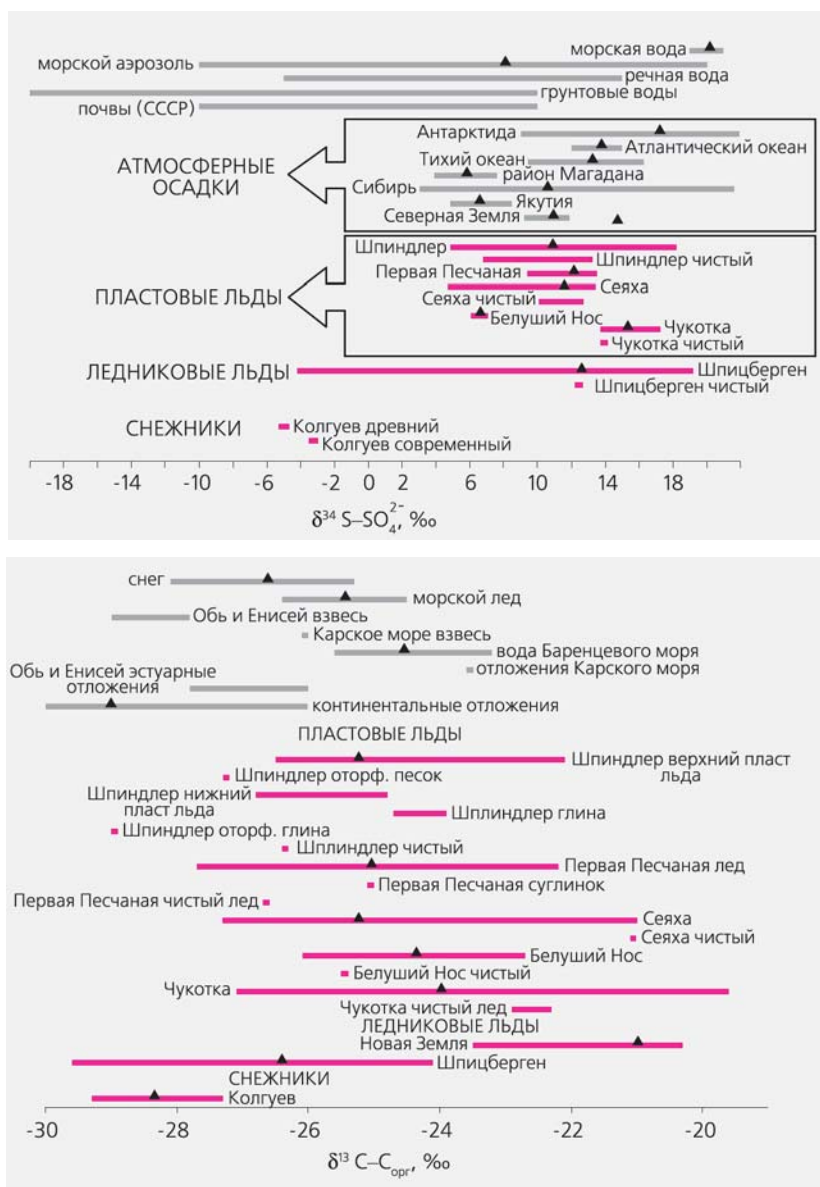


Рис. 1. Изотопный состав серы (вверху) сульфат-иона ( $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{2-}$ ) и  $\text{C}_{\text{орг}}$  ( $\delta^{13}\text{C-C}_{\text{орг}}$ ) в различных объектах окружающей среды [4, 11, 13]. Цветом выделены данные, полученные авторами. Треугольником показано среднее значение.

и протяженностью до нескольких сотен метров [6]. Большинство отечественных и зарубежных — в первую очередь канадских — исследователей вечной мерзлоты считает, что ледовые льды имеют внутригрунтовое происхождение — сегрегационное, инъекционное или смешанное [7]. Но, наряду с этой гипотезой, обсуждается также образование ледовых залежей

в результате захоронения ледникового льда (т.е. первичноповерхностное происхождение). Впервые такое предположение высказали Ф.А.Каплянская и В.Д.Тарноградский [8].

Таким образом, на сегодняшний день в литературе выделяются ледовые залежи льдов двух основных типов: внутригрунтовые, образующиеся при промерзании во-



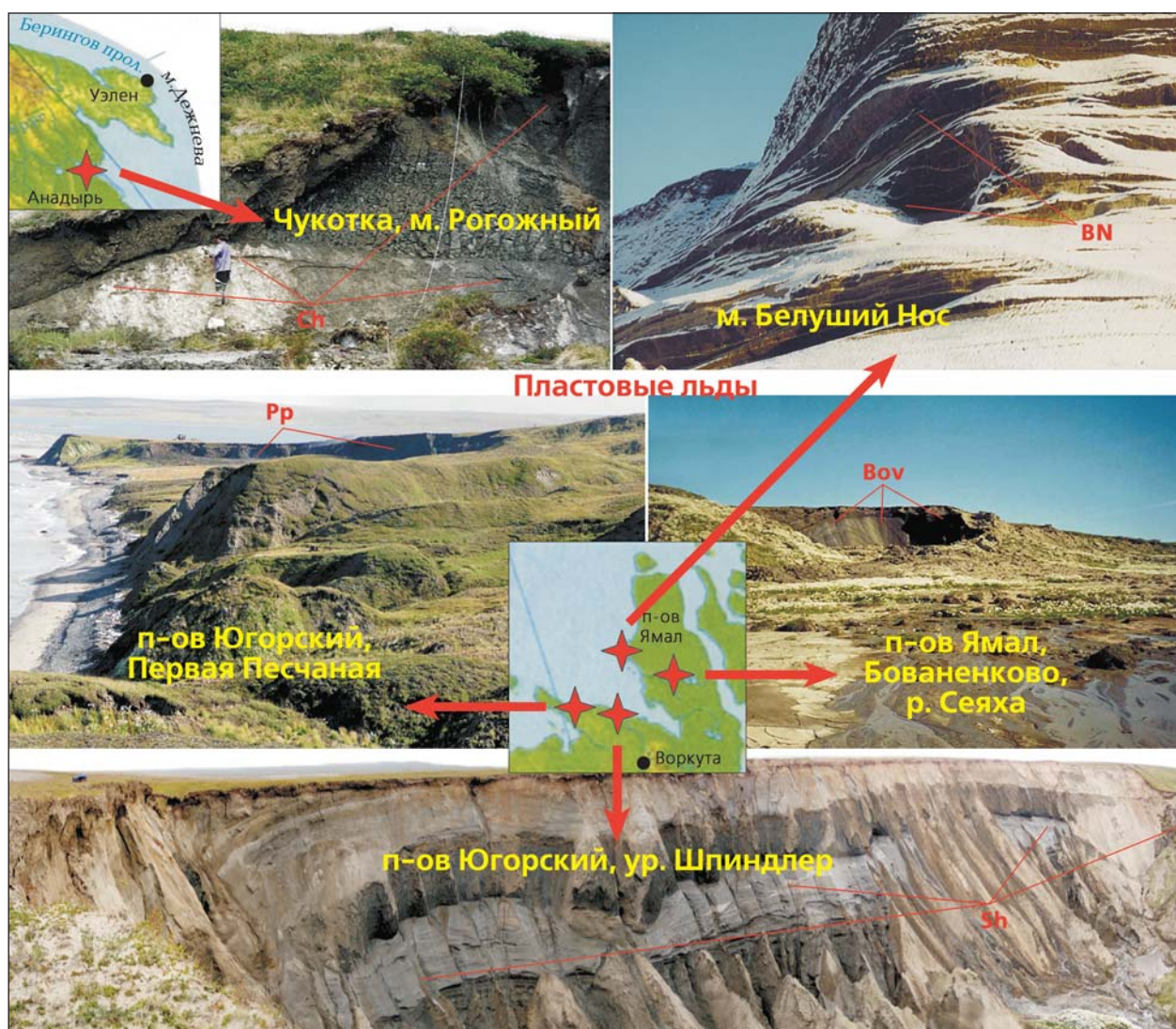


Рис.2. Места изучения залежей пластовых льдов. Индексами указаны точки отбора образцов.

донасыщенных горизонтов отложений, и погребенные первично-поверхностные (глетчерные, снежники и др.). Залежи обоих типов образуются на континентах. Установление природы подземных льдов принципиально важно, поскольку погребенные ледники дают информацию о составе атмосферных осадков во время их формирования и служат свидетельством широкого распространения древнего (плейстоценового) покровного оледенения в регионе. Доказательство внутригрунтовой природы подземных льдов означает, на-

против, локальность распространения покровных ледников и дает возможность судить о составе подземных вод и отложений, вмещающих льды.

Некоторые исследователи выделяют еще один тип пластовых подземных залежей — субмаринный. Их образование связывают с развитием подводных оползней на дне в условиях смятия промерзающих слабо литифицированных морских отложений [9].

Результаты наших исследований подземных льдов на полуостровах Ямал и Югорском (1998—2000) не противоречили

представлениям о преимущественно внутригрунтовой генезисе изученных залежей [3—5]. Вместе с тем на основании полученных данных нельзя исключить и участие первично-ледниковых льдов в формировании подземных пластовых залежей материковой Арктики.

Источником влаги покровных льдов служат атмосферные осадки, обычно твердые в виде снега, в отличие от внутригрунтовых льдов, формирующихся из подземных вод. К сожалению, пределы значений  $\delta^{34}\text{S}$  сульфат-иона подземных вод и атмосферных осадков частично пе-





Рис.3. Основные типы исследованных льдов урочища Шпиндлер (Югорский п-ов) и ледника Шокальского (Новая Земля). а — чистые прозрачные стекловидные, б — пузырчатые, в — слоистые с литогенными включениями.

рекрываются (рис.1), что затрудняет интерпретацию изотопных данных. С наибольшей уверенностью можно говорить лишь о присутствии морского сульфата в случае сравнительно высоких концентраций  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$  и тяжелого изотопного состава серы сульфат-иона, а также об участии изотопно-легких сульфидов, окисленных до сульфата.

Взвесь в ледниковых льдах формируется главным образом за счет атмосферного переноса с материка в составе аэрозолей [10]. Еще один источник взвеси — продукты денудации пород самих островов, на которых находится ледник. Источниками  $C_{орг}$  может быть органическое

вещество, перенесенное в составе взвеси или связанное с развитием водорослей в снежниках, из которых впоследствии формируется ледниковый лед.

Изотопный состав  $C_{орг}$  континентального и морского происхождения различается на 5—10‰ (рис.1).

### Подземные пластовые льды

Мы изучали залежи подземных пластовых льдов Западно-Сибирской Арктики (урочище Шпиндлер, р.Первая Песчаная, р.Сеяха, Белуший Нос), а также залежь в восточном термоцирке

на мысе Рогожном (Чукотка) на северном побережье залива Онемен в Беринговом море (рис.2).

Результаты изотопно-геохимических исследований приведены на сводных диаграммах значений  $\delta^{34}S$  серы сульфат-иона (рис.1) и значений  $\delta^{13}C$  органического углерода ( $C_{орг}$ ) взвеси во льдах (рис.1).

Изученные нами подземные пластовые льды (рис.3) по текстуре и содержанию в них нерастворимого материала (взвеси) можно разделить на три типа: 1) чистые прозрачные стекловидные; 2) пузырчатые и 3) с прослоями осадочного материала [2—4].

Для определения источника влаги главный интерес представляют чистые льды, поэтому изотопные данные из таких проб выделены в отдельную строку на диаграммах (рис.1).

**Сульфат-ион во льдах.** В образцах чистых льдов с содержанием взвеси менее 2.5 г/л концентрация сульфат-иона, как правило, минимальная ( $\leq 3$  мг/л). Исключение представляют пробы из залежи мыса Рогожного, где она достигает 18 мг/л (рис.4).

Концентрация сульфат-иона во льдах с литогенными включениями практически не зависит от содержания взвеси (если не считать несколько проб из урочища Шпиндлер, где повышение концентрации сульфат-иона связано с окислением осадочных сульфидов взвеси). Не наблюдается также корреляции между концентрацией  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  в расплавах подземных пластовых льдов Западно-Сибирской Арктики, что доказывает гетерогенность источников этих двух ионов. Только в чукотских льдах с ростом концентрации  $Cl^-$  растет концентрация сульфат-иона. Это свидетельствует в пользу морского источника влаги, из которой формировались льды мыса Рогожный (рис.5).

**Органический углерод взвеси из пластовых льдов**

Западно-Сибирской Арктики имеет близкий изотопный состав, доказывающий его преимущественно континентальный источник (рис.1). В чукотских льдах  $C_{орг}$  обогащено тяжелым изотопом  $^{13}C$  до  $-19\%$ . В среднем для прозрачных льдов с минимумом взвеси  $\delta^{13}C = -22.5\%$ , что характеризует источник этого  $C_{орг}$  как морской.

Таким образом, пластовые льды в разрезе мыса Рогожный отличаются от подземных пластовых льдов Западно-Сибирской Арктики морским источником  $C_{орг}$ , более высокими концентрациями сульфат-иона и обогащением серы сульфат-иона тяжелым изотопом  $^{34}S$  до  $17.3\%$  (шлировый лед). Повышенные концентрации взвеси характерны только для проб пластового льда на контакте с глинистыми отложениями

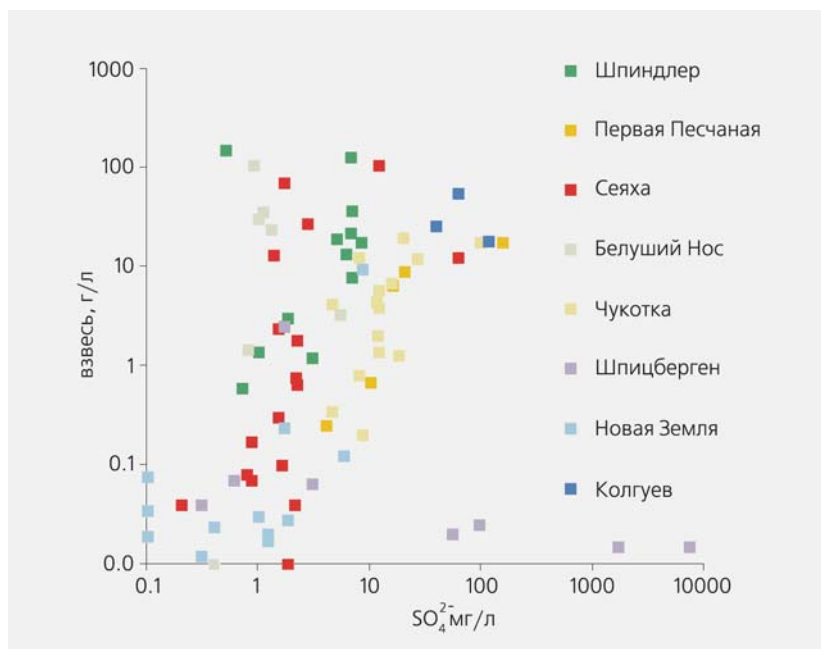


Рис.4. Соотношение концентрации сульфат-иона ( $SO_4^{2-}$ ) и содержания взвеси в расплавах льдов.

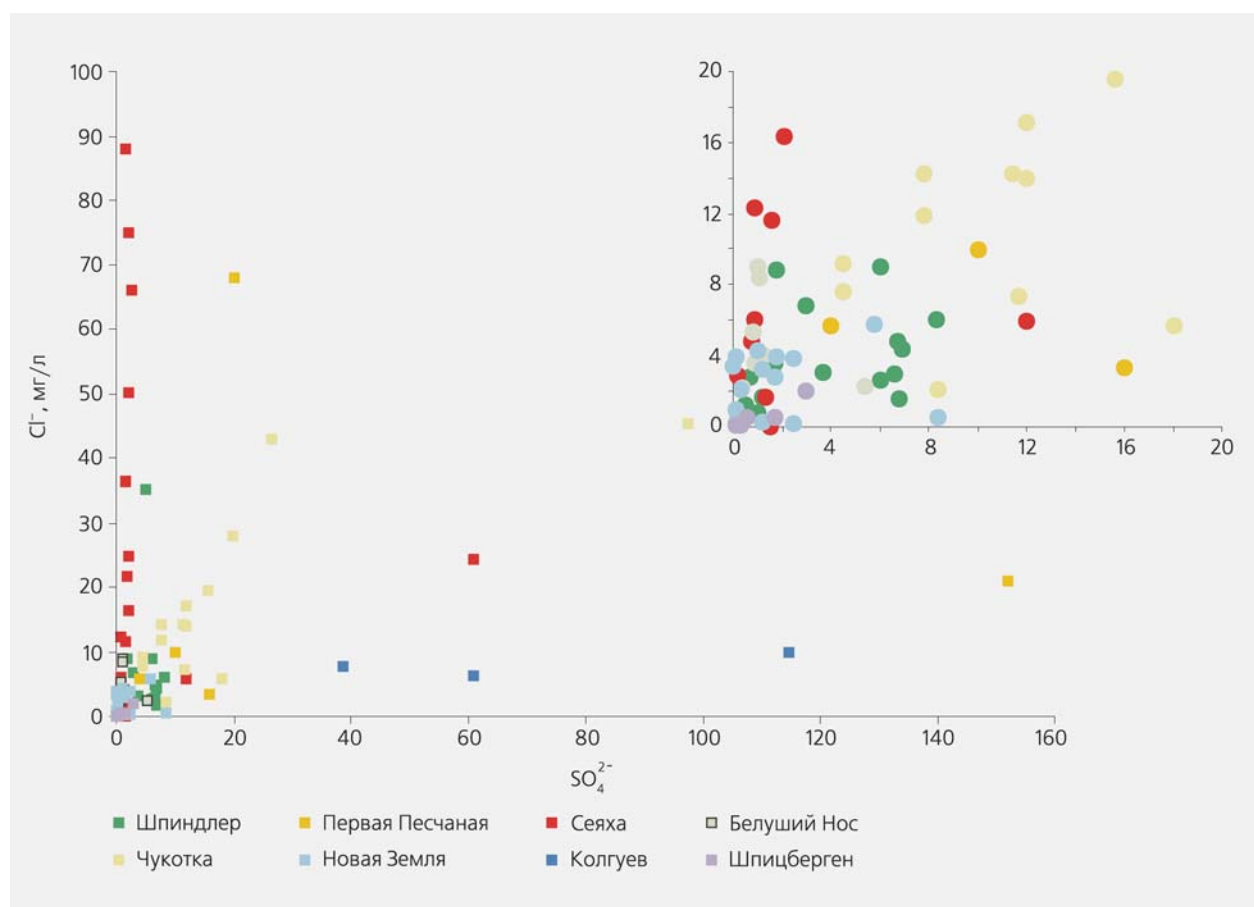


Рис.5. Соотношение концентрации сульфат-иона ( $SO_4^{2-}$ ) и содержания хлора в расплавах льдов.

и для шлирового льда из глинистых отложений, перекрывающих ледяную залежь.

## Поверхностные ледники

Мы исследовали современный и древний снежники на о. Колгуев, мертвый лед ледника Шокальского на северном острове архипелага Новая Земля и лед ледника Альдегонда на архипелаге Шпицберген (рис.6). Все три района расположены в пределах материковой окраины. Они построены из структур континентального типа. Ближе всех расположен к материке о.Колгуев. Он сложен рыхлыми четвертичными отложениями и в отличие от архипелагов Новая Земля и Шпицберген, представляющих собой горные страны складчато-глыбового строения, удаленные от континента, является составной частью обширных приморских равнин арктического севера. Колгуев и Новая Земля входят в южный район Европейского арктического бассейна с интенсивной циклонической деятельностью, а Шпицберген относится к северной части этого бассейна. Покровные ледники составляют 90% площади архипелага. Ледник Альдегонда имеет длину более 4 км и ширину 2 км. Фронт его языка находится в 1.4 км от береговой линии на высоте около 80 м. Самая высокая точка ледника располагается на отметке ~700 м.

В зимнее время к архипелагу Шпицберген поступают два основных циклонических потока: один идет из Норвежского моря, а другой — из Баренцева. В летнее же время острова архипелага находятся вне зоны действия циклонов. На о.Колгуев ветры зимой дуют с северо-запада европейской территории, в том числе с Кольского п-ова, на котором расположены горнодобывающие предприятия, а летом он находится во власти циклонов из Норвежско-

го моря, огибающих Кольский п-ов [12].

Взвесь покровных ледников Арктики в основном состоит из минеральных частиц и органического материала.

**Снежники о.Колгуев.** Здесь были исследованы древний снежник, захороненный склоновыми осадками (пробы К-6 и К-7), и современный загрязненный снежник (К-10/4), залегающий в днище вторичного термоцирка в непосредственном контакте с древним.

Лед с большим количеством включений из захороненного снежника содержит в два раза больше взвеси по сравнению с современным (33 г/л и 18 г/л соответственно). Современный снежник отличается также максимальной концентрацией сульфат-иона (до 114.81 мг/л), хотя и в древнем снежнике концентрация сульфат-иона повышена по сравнению с пластовыми льдами (рис.4). Сера сульфат-иона сильно обеднена тяжелым изотопом  $^{34}\text{S}$  (рис.8). Значения  $\delta^{34}\text{S}$  варьируют от  $-3.5\%$  в современном снежнике до  $-5.4\%$  в древней залежи. Объясняется этот необычный изотопный состав (как и в случае со льдами урочища Шпиндлер) высоким содержанием изотопно-легкого пирита (рис.7) во вмещающих осадочных породах и во взвеси. Видимо, при транспортировке к снежнику в составе аэрозольных частиц пирит окисляется до сульфат-иона. Это приводит как к увеличению концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$ , так и к аномально легкому изотопному составу серы сульфат-иона. Увеличение концентрации сульфата в современном снежнике более чем в два раза мы склонны объяснять поступлением дополнительного антропогенного аэрозольного сульфата из горно-обогатительных предприятий (например, с Кольского п-ова). Рудный сульфид (изотопно более тяжелый, чем осадочный) сдвигает значение  $\delta^{34}\text{S}$  сульфат-иона современного снежника в сторону изотопного утяжеления на 1%.

В современном снежнике содержится меньше  $\text{C}_{\text{орг}}$  и  $\text{CH}_4$ , чем в древнем снежнике. Концентрация метана в сильно загрязненном льду составляет 15–20 ppm, что в 2–5 раз выше по сравнению с пластовыми льдами урочища Шпиндлера. В расплавах из снежников содержится в 10–40 раз больше карбонат-иона, чем в подземных пластовых льдах Югорского п-ова.

Органический углерод взвеси (рис.8) имеет легкий изотопный состав, что свидетельствует, скорее всего, о континентальном источнике этого углерода, поступающего в снежник в составе аэрозоля.

**Льды архипелага Новая Земля.** Содержание взвеси в мертвых льдах ледника Шокальского и в снежнике из Русской Гавани не превышает сотых долей грамма на литр талой воды. Исключение представляет небольшой прослой полосчатого льда, где наблюдается также самая высокая концентрация сульфат-иона.

Значения  $\delta^{13}\text{C}$  органического углерода взвеси, изменяющиеся от  $-20.1$  до  $-23.5\%$ , говорят о минимальном участии континентального  $\text{C}_{\text{орг}}$  в аэрозольном переносе (рис.1, 8).

**Ледник Альдегонда на Шпицбергене.** Все пробы мертвого льда с поверхности (Bb 1) и с подошвы (из базальной зоны, Bb 2) ледника содержат, как правило, мало взвеси (сотые доли г/л) и мало сульфат-иона. Близкие величины концентрации взвеси были получены в поверхностном слое снежного покрова на дрейфующих льдинах в Арктике [10]. Только в пробе льда с видимыми включениями пелитового материала содержание взвеси достигало 2.5 г/л (Bb 1/6).

Значения  $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_{\text{орг}}$  из чистого льда с концентрацией взвеси 0.014 – 0.07 г/л лежат в пределах  $-26.7 \dots -29.6\%$ , что предполагает континентальный источник взвеси (рис.1). В пробах с большим количеством литогенных включений (2.5 г/л) изо-



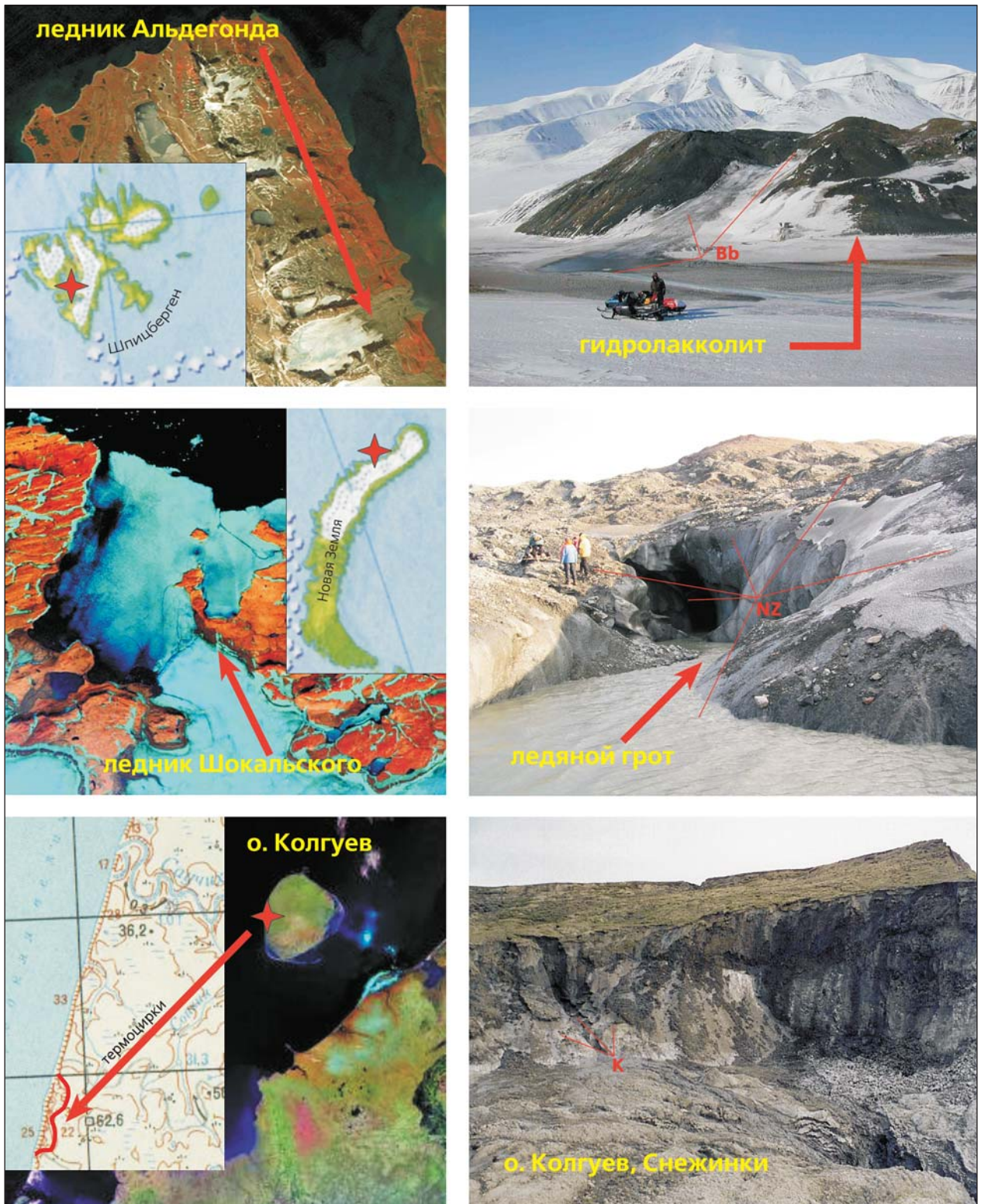


Рис.6. Места изучения залежей покровных (первично-поверхностных) льдов. Индексами указаны точки отбора образцов.



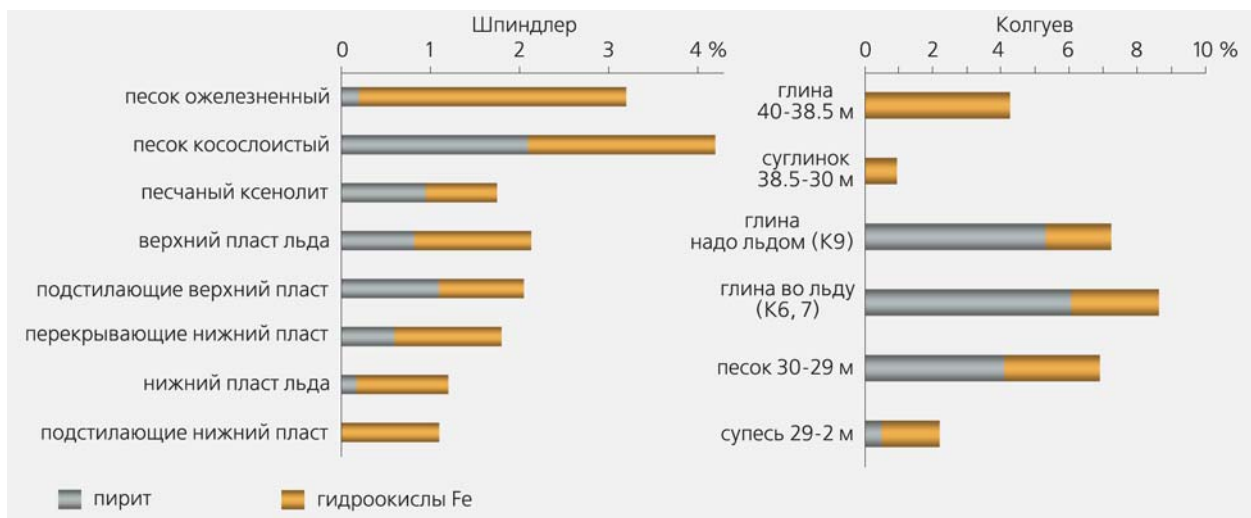


Рис.7. Изменение содержания пирита и гидроокислов железа по вертикальным профилям разрезов урочища Шпидлер и о.Колгуев.

топный состав  $C_{орг}$  утяжеляется за счет органического материала, поступающего с окружающих склонов.

**Сходство и различие.** Как следует из значения  $\delta^{34}S$  сульфат-иона и  $\delta^{13}C-C_{орг}$  всех изу-

ченных проб (рис.8), разброс этих величин чрезвычайно широк и составляет 23‰ для  $\delta^{34}S$  сульфат-иона расплава и 10‰ для  $\delta^{13}C-C_{орг}$  взвеси, что доказывает гетерогенность источников серы и органического угле-

рода во льдах. В первую очередь это зависит от их разного удаления от континента и от направления атмосферных циклонических потоков.

На о.Колгуев древний снежник несет явные следы влияния

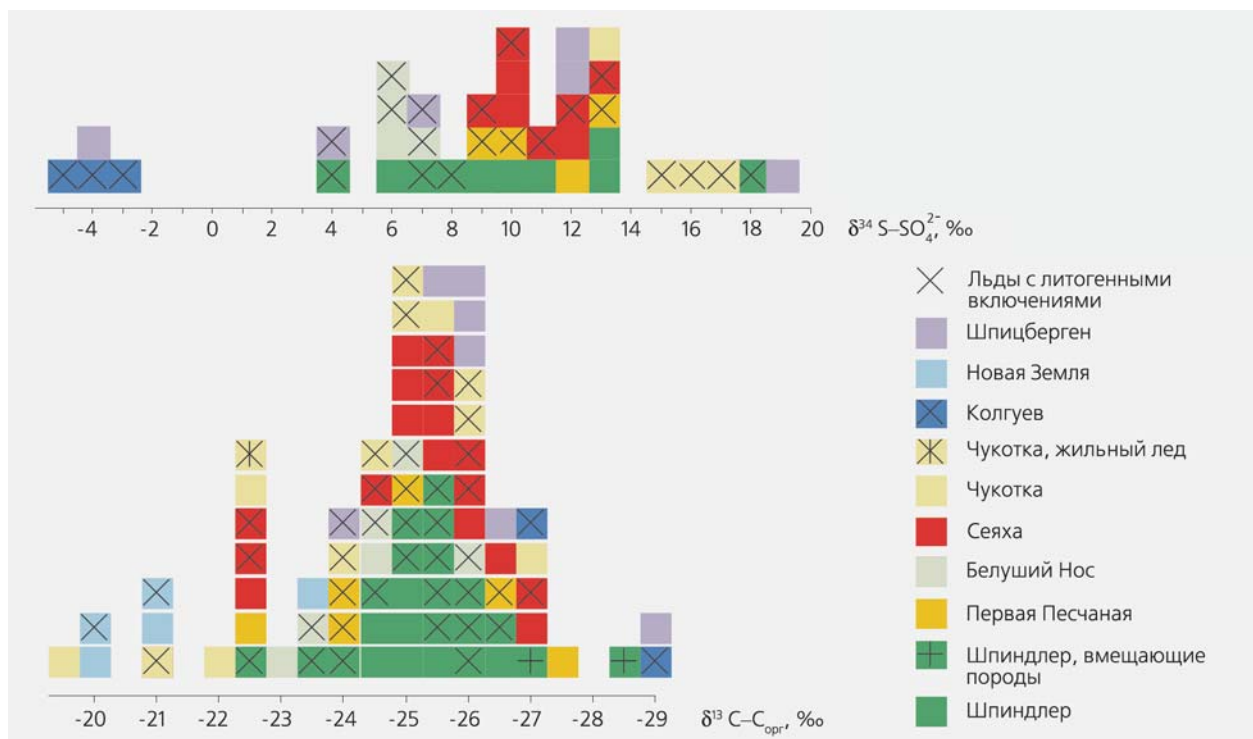
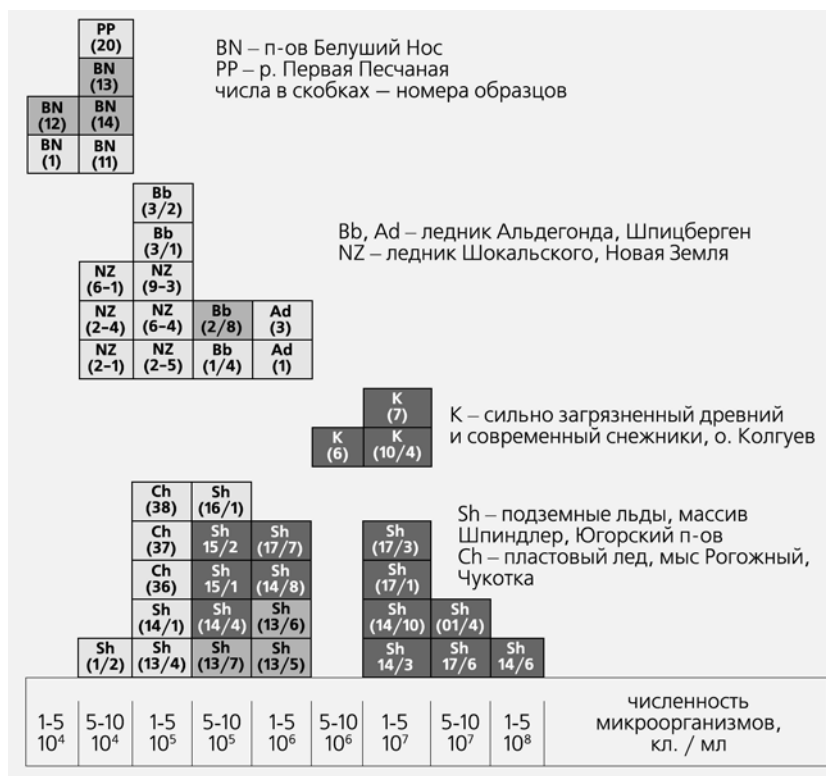


Рис.8. Гистограмма изотопного состава серы в расплавах льда и во вмещающих породах (вверху) и углерода органического вещества взвеси из расплавов льда.



континентального переноса: сера сульфат-иона расплава из снежников образована в результате окисления изотопно-легкой сульфидной серы (пирита) из осадочных отложений. Органическое вещество взвеси из снежников также имеет преимущественно континентальное происхождение. Современный снежник отличается от древнего повышенной (вдвое) концентрацией сульфат-иона и некоторым обогащением серы изотопом <sup>34</sup>S. Это легче всего объяснить участием дополнительных порций антропогенной серы сульфат-иона, образовавшегося при окислении более изотопно-тяжелых рудных сульфидных минералов при их переносе с континента в составе аэрозолей.

В ледниках архипелага Шпицберген сульфат-ион также обеднен изотопом <sup>34</sup>S за счет окисления сульфидных минералов, например за счет пирита из угольных отвалов.

Судя по обогащению C<sub>орг</sub> взвеси тяжелым изотопом <sup>13</sup>C, ледник Шокальского на архипелаге Новая Земля не испытывает серьезного влияния материала с континента. Происхождение C<sub>орг</sub> с таким изотопным составом, скорее всего, связано с массовым летним развитием микроводорослей на поверхности льда.

Численность микроорганизмов в расплавах подземных и поверхностных залежей льдов зависит от количества взвеси во льдах [13]: в чистых прозрачных разностях содержится (1–5)·10<sup>4</sup>, а в полосчатых льдах – (1–5)·10<sup>8</sup> кл/мл (рис.9). Присутствие жизнеспособных микроорганизмов во льдах подтверждено биогеохимическими исследованиями, которые показали, что скорость <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>-ассимиляции в расплавах льда изменяется независимо от типа залежи от 100 нг С/л·сут в прозрачных льдах до более 2000 нг С/л·сут в полосчатых льдах с большим количеством взвеси (рис.9).

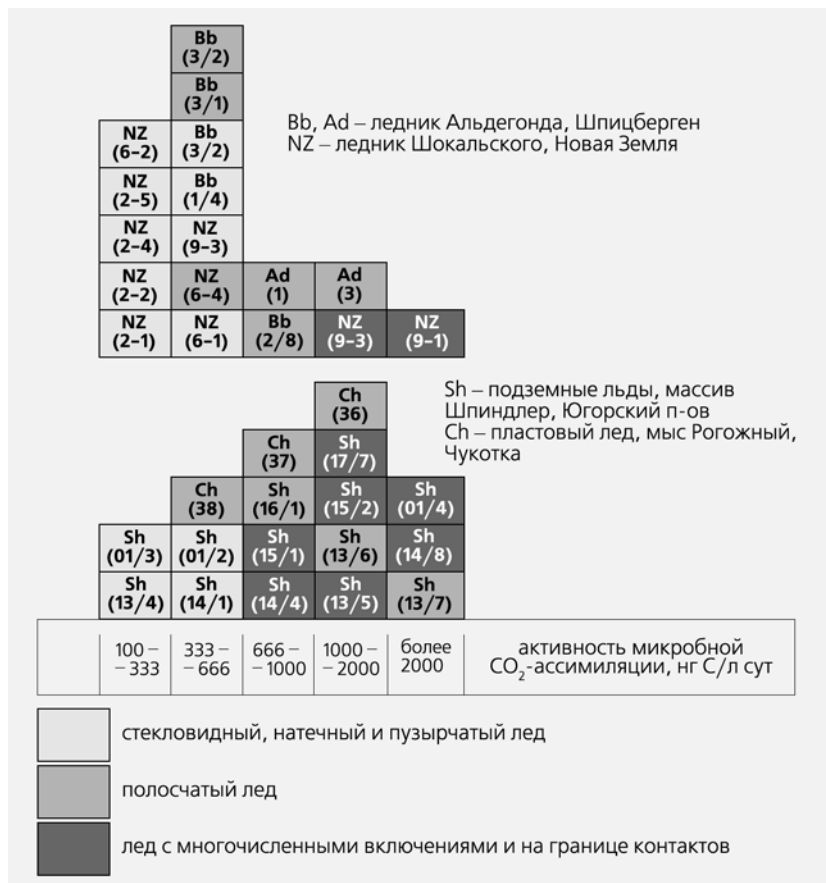


Рис.9. Численность микроорганизмов (вверху) и активность микробной CO<sub>2</sub>-ассимиляции в образцах льда различного генезиса.

\* \* \*

Итак, значительный разброс величин  $\delta^{34}\text{S}$  сульфат-иона льдов из различных залежей (от  $-5.4$  до  $+19.0\text{‰}$ ) свидетельствует о гетерогенности источников серы сульфата. Легкий изотопный состав (особенно отрицательные значения) сульфат-иона однозначно говорит об участии осадочных или рудных сульфидов в его образовании.

Пластовые льды Чукотки по своим изотопно-геохимическим параметрам ( $\delta^{34}\text{S}$  и  $\delta^{13}\text{C}$ ) заметно отличаются от подземных пластовых залежей Запад-

но-Сибирской Арктики. Тяжелый изотопный состав сульфат-иона ( $\sim\delta^{34}\text{S} = 19.0\text{‰}$ ) свидетельствует наряду с другими признаками об участии морской влаги в формировании льдов Чукотки. Для этих льдов установлен также морской источник  $\text{C}_{\text{орг}}$  во взвеси.

Проведенные исследования ледниковых льдов на трех островах, испытывающих влияние разнонаправленных циклонов и расположенных на разном расстоянии от континента, доказали разный источник сульфат-иона во влаге, из которой формируются эти льды, и раз-

ный источник взвеси. Изотопный состав сульфат-иона может и должен использоваться для оценки доли антропогенной серы в составе снежников. На примере современного и древних снежников о. Колгуев с уверенностью можно сказать, что физико-географические условия и циркуляция аэрозольных потоков сохраняются в этом районе Арктики уже более 100 лет. ■

*Авторы благодарят Б.Г.Вайнштейна за содействие в выполнении ряда химических и минералогических анализов.*

Работа выполнена при финансовой поддержке ИНТАС. Проект 01-2211.

## Литература

1. Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геоэкологии и гляциологии. М., 2000.
2. Леин А.Ю., Лейбман М.О., Пименов Н.В., акад. Иванов М.В. // Докл. РАН. 2000. Т.374. №2. С.235—237.
3. Leibman M.O., Lein A.Yu., Hubberten H.W. et al. Isotope-geochemical characteristics of tabular ground ice at Yugorsky peninsula and reconstruction of conditions for its formation // Материалы гляциологических исследований. 2001. Вып.90. С.30—39.
4. Леин А.Ю., Лейбман М.О., Саввичев А.С. и др. // Геохимия. 2003. №10. С.1084—1104.
5. Leibman M.O., Lein A.Yu., Vansbtein B.G. et al. Tabular ground ice origin in the Arctic coastal zone: cryolithological and isotope-geochemical reconstruction of conditions for its formation // Proceedings of the 8th International conference. Zurich, 21—25 July 2003. Lisse, Netherlands, 2003. P.645—650.
6. Втюрин Б.И. Подземные льды СССР. М., 1975.
7. Лейбман М.О., Васильев А.А., Рогов В.В., Ингольфон О. // Криосфера Земли. 2000. Т.IV. С.31—40.
8. Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д. // Докл. АН СССР. 1976. Т.231. №8470. С.1185—1187.
9. Шполянская Н.А. Арктический шельф и вечная мерзлота // Природа. 2005. №1. С.53—60.
10. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградов А.А. и др. Новый взгляд на влияние золотого переноса на современное морское осадконакопление и окружающую среду в Арктике. Результаты исследования аэрозолей и снежного покрова // Новые идеи в океанологии. М., 2004. Т.2. С.168—214.
11. Stable Isotopes. Natural and antropogenic sulphur in the Environment / Eds H.R.Krouse, V.A.Grinenko. Chicester, 1991.
12. Трешников А.Ф., Сальников С.С. Северный Ледовитый и Южный океаны. Л., 1985.
13. Саввичев А.С., Русанов И.И., Мицкевич И.Н. и др. Особенности биогеохимических процессов круговорота углерода в водной толще, донных осадках, ледовом и снеговом покрове Баренцева моря // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М., 2001. С.394—409.

# Биогенные оксиды азота



А.А.Недоспасов, Н.В.Беда

**О**ксиды азота, в классическом понимании, — термодинамически неустойчивые вещества, состоящие из азота и кислорода. Биохимики и физиологи часто используют более широкое понимание этого термина: наряду с истинными (в химическом смысле) оксидами, к ним относят гидратированные формы, в том числе азотную ( $\text{HNO}_3$ ) и азотистую ( $\text{HNO}_2$ ) кислоты, и соответствующие ионы (нитрат, нитрит), а также пероксиды и другие соединения со связями  $\text{NO-O}$ . С учетом изомерии общее число всех этих веществ составляет несколько десятков, что достаточно для образования практически бесконечного количества комплексов с ионами металлов и всевозможными метаболитами. Поскольку реальные процессы *in vivo* протекают и регулируются именно через эти комплексы, биохимия оксидов азота воистину неисчерпаема.

Все оксиды азота, за исключением  $\text{N}_2\text{O}$ , ядовиты — именно их присутствие в выхлопных газах контролирует автоинспекция; именно их примесями в табачном дыме объясняли повышенную частоту рака легких среди курильщиков, т.е. с детства оксиды азота ассоциируются у нас с неприятностью, опасно-



**Андрей Артурович Недоспасов**, доктор химических наук, заведующий группой энзиматического анализа Института молекулярной генетики РАН. Занимается биохимией оксидов азота.



**Наталья Владимировна Беда**, младший научный сотрудник той же группы. Область научных интересов — аналитическая биохимия.

стью, ущербом для здоровья. Естественно, все они были всесторонне изучены химиками, нашли важные применения в химической промышленности и прикладных дисциплинах, их повсеместно изучали в курсах общей и неорганической химии, т.е. они были широко известны уже в начале XX в. не только из повседневного опыта (порох, взрывчатые вещества, лекарства, удобрения, красители и др.), но и из художественной литературы (например, «Гиперболоид инженера Гарина»). Эта известность была в значительной степени кажущейся, а в истории открытия и исследования биогенных оксидов азота она часто играла роль ингибитора.

© Недоспасов А.А., Беда Н.В., 2005





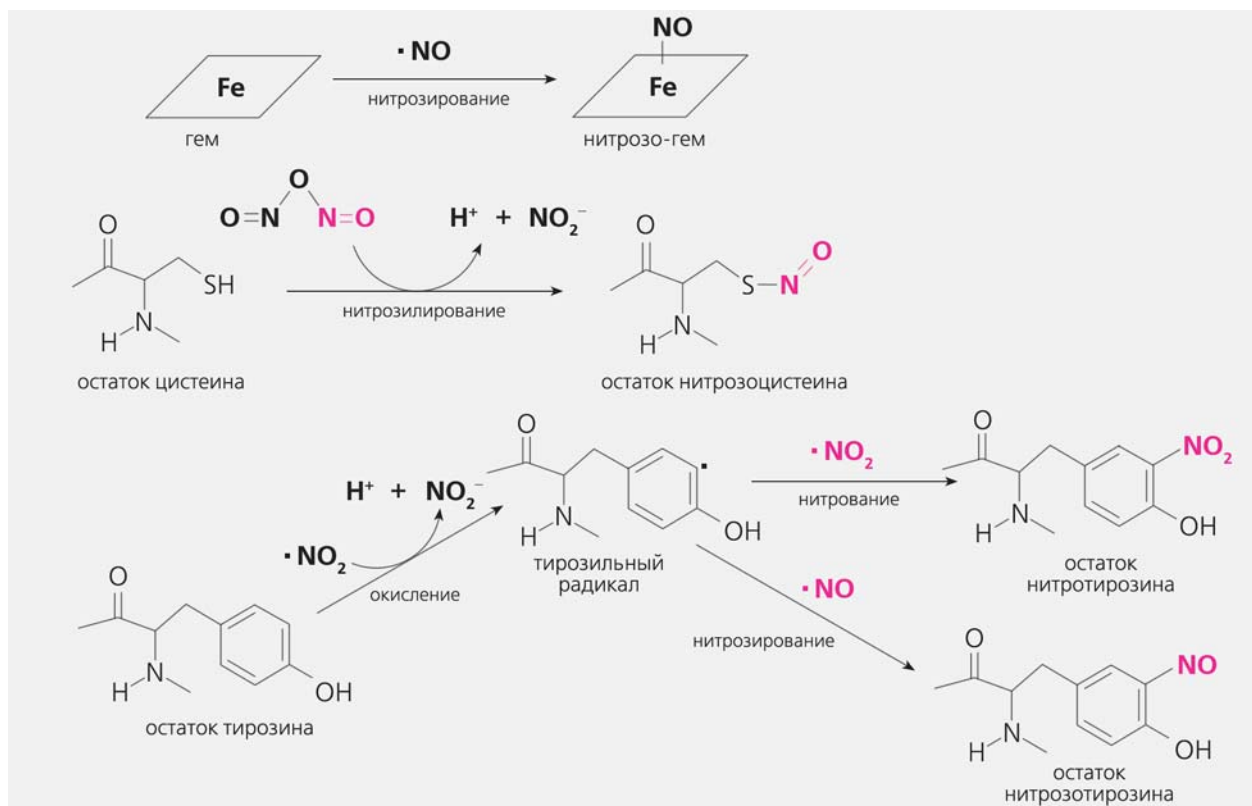


Рис.2. Основные типы химических реакций с участием биогенных оксидов азота: нитрозирование, нитрозилирование, нитрование, окисление. (В биохимической литературе термины нитрозирование и нитрозилирование часто используют как синонимы; в русскоязычной химической — нитрозилирование, обычно — электрофильная реакция, а по официальной номенклатуре IUPAC — радикальная.)

в медицине для защиты от перепроизводства NO, обычного при септическом шоке («заражение крови») и некоторых инфекциях.

Среднее время жизни молекулы NO в организме человека — менее пяти секунд, а для тионитритов (нитрозотиолов, RSNO — см. рис.1), в зависимости от радикала R, составляет десятки минут и даже часы. По этой причине основная масса оксидов азота, вовлеченных в круговорот, приходится не на NO, а на продукты его окисления, которые и образуют депо оксидов азота. У человека и многих млекопитающих восстановление нитрата в нитрит в обычных условиях малоэффективно — основная часть образовавшегося нитрата выводится с мочой.

Таким образом, баланс между реакциями окисления NO регулирует количество обращающихся в цикле оксидов азота, а следовательно, и все зависящие от них физиологические процессы. Ясно, что изучение механизмов сохранения или изменения этого баланса и активности NO-синтаз (двух путей поддержания пула оксидов азота) — фундаментальная проблема биохимии, имеющая важнейшие практические приложения.

В организме наиболее многочисленны реакции оксидов азота, обеспечивающие их участие

в регуляции активности белков, а через них и генов. Это реакции нитрования, нитрозилирования (введение остатка нитрозила под действием NO<sup>+</sup> — электрофильная реакция), нитрозирование (введение радикала ·NO — свободно-радикальный механизм) с образованием связей C–N, N–N, S–N, O–N (рис.2). Среди них лучше всего изучено нитрозилирование SH-групп остатков цистеина, т.е. превращение их в нитрозотиолы RSNO (R — остаток цистеина белковой молекулы).

Быстро обнаружилось, что в молекулу белка вводится сразу несколько NO-групп, а избирательность этой модификации никакими разумными схемами объяснить не удалось. Пока в молекуле белка два-три свободных остатка цистеина, можно рассматривать гипотезы случайного выбора модифицирующего сайта — по закону лотереи какая-то часть молекул модифицируется правильно. Но если остатков цистеина более 80, а при активации белка нитрозилируются определенные 20, ни для какой лотереи места не остается — даже единственного выигрыша пришлось бы ждать вечно. А при активации кальциевого канала реализуется именно этот случай [1].

S-нитрозирование и другие NO-зависимые модификации белков имеют первостепенное значение

ние для всего комплекса наук о живом. Между тем, основной постулат ранних работ о биохимическом нитрозировании оказался ошибочным. Детальные исследования показали, что при физиологических концентрациях NO практически не реагирует с тиолами (RSH), при высоких образует N<sub>2</sub>O, но не RSNO [2]. Таким образом, ни механизмов нитрозирования, ни механизмов избирательности, ни источников энергии для ее поддержания, ни даже самого нитрозирующего агента *in vivo* найдено не было.

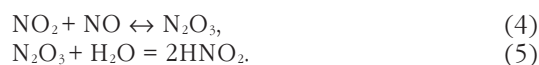
## Мицеллярное окислительное нитрозирование

После открытия биосинтеза NO в клетках млекопитающих считалось, что главный путь его распада *in vivo* — окисление в нитрат под действием комплексов гемоглобина и миоглобина с кислородом. Понадобилось пять лет всемирного увлечения биохимией оксида азота, чтобы назвать NO «Молекулой года» (1992), и еще год, чтобы усомниться в правомочности логического вывода из общеизвестного факта — казалось само собой разумеющимся, что при окислении NO *in vivo* нитрат образуется и без гемоглобина (реакции (3), (3,а)). В 1993—1994 гг. в ведущих биохимических и общенаучных журналах появилась серия статей, показывающих, что в модельных экспериментах с физиологическими концентрациями NO и кислорода в воде образуется нитрит и лишь следы нитрата. Факт казался парадоксальным, поскольку в общеизвестных из школьного курса химии реакциях (3, 3,а) получается нитрат (азотная кислота). В действительности реакция (3) невозможна. Молекула NO<sub>2</sub> с нечетным числом электронов (23e<sup>-</sup>) не может прореагировать с молекулой воды (четное число — 10e<sup>-</sup>). Сначала она взаимодействует с другой нечетной молекулой, в данном случае — со второй молекулой NO<sub>2</sub>. Обычно в организме концентрация NO такова, что получающегося при его окислении NO<sub>2</sub>, столь мало, что встреча этих двух молекул — весьма редкое событие.

Осознав, что синтезируемый из аргинина NO может окисляться в нитрит и должен участвовать в нитрозировании, биохимики столкнулись с необходимостью поиска основного нитрозирующего интермедиата в организме. Исследовав кинетику реакции в кислородсодержащих растворах NO и перебрав все известные оксиды азота, группа американских ученых пришла к выводу: ни один из них на эту роль не подходит. Предположили наличие неизвестного оксида (-ов), который назвали NO<sub>x</sub> [3, 4]. Работы имели большой резонанс, однако вскоре в них обнаружился ряд неточностей, существование неизвестного оксида стало восприниматься скептически (как увидим, преждевременно), а символ NO<sub>x</sub> остался для обо-

значения нитрозирующего интермедиата при действии NO в аэробных условиях.

Чуть более года потребовалось для следующего логического шага: раз при окислении NO кислородом в водных растворах образуется только нитрит, значит, нитрозирующий агент — N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, который получается по обратимой реакции (4) и тут же гидролизуется (5):



Однако изучение кинетики окисления NO показало: при его физиологических концентрациях (<10<sup>-6</sup> M) реакция (2) слишком медленна, чтобы заметно влиять на нитрозирование. Сложилась парадоксальная ситуация: N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — общепризнанный нитрозирующий агент *in vivo*, но образоваться с необходимой скоростью он не может.

Ситуация прояснилась с открытием роли мицеллярного катализа при окислении NO [5—7]. Растворимость NO и O<sub>2</sub> в воде ниже, чем в большинстве менее полярных растворителей, в том числе в липидах, и коэффициенты распределения Q (отношение равновесных концентраций растворенного вещества в гетерогенной смеси двух ограниченно смешивающихся жидкостей) в гетерогенных смесях таких веществ с водой (Q<sub>NO</sub>, Q<sub>O<sub>2</sub></sub>) много больше 1. Соответственно, мембраны клеток, гидрофобные глобулы белков, РНК, липопро-теины и другие гидрофобные фазы действуют как губки, вытягивая реагенты из водных фаз и концентрируя их в малом объеме липидных (рис.3).

Реакция окисления NO (2) — довольно редкий пример реакций третьего порядка (скорость таких реакций зависит от куба концентраций реагентов). В этом случае мицеллярный катализ особенно эффективен: хотя в водных фазах концентрации реагентов и скорость окисления падают, гидрофобные фазы с лихвой компенсируют эти потери, и в целом скорость реакции возрастает. Наибольшее ускорение (в десятки и сотни раз!) достигается при относительно малых долях гидрофобной фазы (рис.3, справа); дальнейшее увеличение доли липида замедляет процесс [5]. Соответственно, в гетерогенной среде скорость окисления NO может более чем на два порядка превышать скорость реакции в воде при том же суммарном содержании NO и кислорода. Парадокс с поиском пути образования N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, необходимого для нитрозирования, казался, был разрешен.

Экспериментальная проверка не заставила себя ждать, как и полагали авторы: в гетерогенных модельных системах, включая липосомы\*, окисление NO было пропорционально доле добавленной гидрофобной фазы [6]. Однако быстро выяснилось, что все не так хорошо: в одной и той же модели вы-

\* Искусственные образования, моделирующие клетку: вроде мыльного пузыря, но и снаружи, и внутри — вода, а роль клеточной мембраны играет тончайший слой мылоподобных молекул.

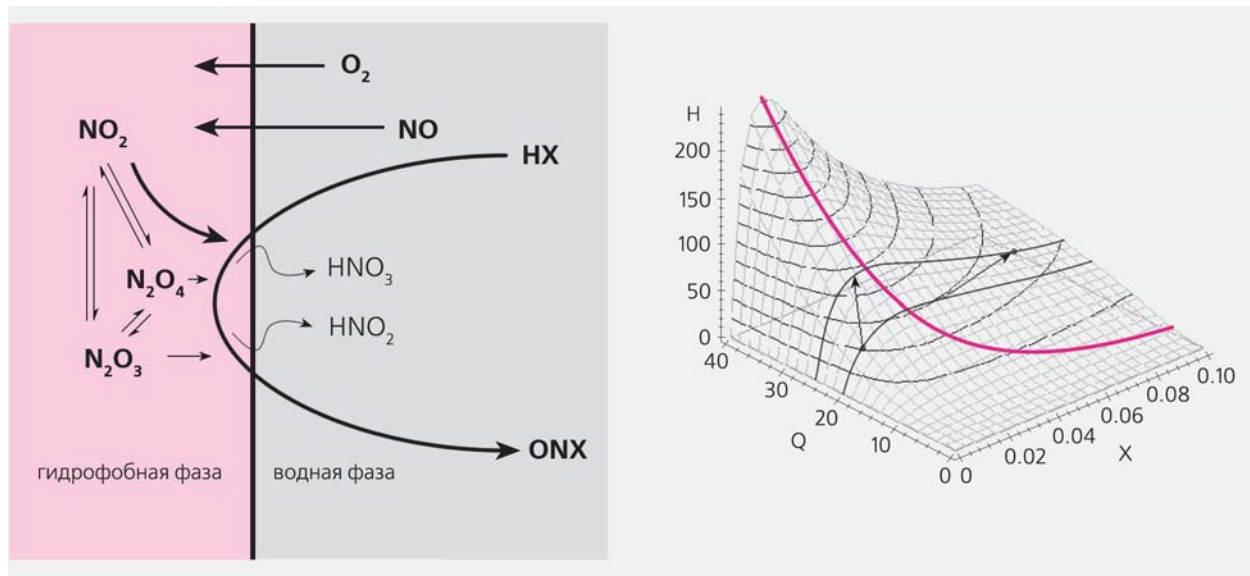


Рис.3. Схема мицеллярного катализа в окислении NO. Реакция окисления NO с образованием NO<sub>2</sub> преимущественно протекает в липидах, мембранах и гидрофобных компартментах биомолекул (слева). Трехмерная диаграмма зависимости увеличения кажущейся константы скорости реакции окисления NO (**H**) в гетерогенной двухфазной системе от объемной доли гидрофобной фазы (**X**) и коэффициентов распределения реагентов между фазами (**Q**). Принято, что  $Q_{NO} = Q_{O_2} = Q$ . Темные прерывистые кривые — сечения поверхности при постоянных значениях **H**; две сплошные — при постоянном сечении **Q** ( $Q = 20$ ,  $Q = 25$ ); красная — вершина гребня положения максимумов функции **H**<sub>(X)</sub> при разных значениях **Q**. Стрелками показаны два варианта изменений ускорения окисления NO (функция **H**) при одновременном увеличении значения **Q** с 20 до 25 и возрастании **x** вдвое. В первом случае (левая стрелка) скорость окисления NO возрастает, во втором (правая стрелка) — падает (по: Beda, Suntsova, 1999).

воды различались. В теоретической работе московских авторов зависимость скорости реакции имела максимум при относительно низких долях гидрофобной фазы, а у американских коллег та же зависимость была монотонной (больше доля гидрофобной фазы — больше скорость окисления).

Новый парадокс разрешился год спустя: максимум на кривой «нашелся» при большей доли гидрофобной фазы, в первой работе экспериментально не исследованной [7]. Подстановка экспериментальных результатов американских коллег в «правильное» уравнение российских исследователей показала, что исправление математических ошибок не устраняет расхождения теории и эксперимента — результаты опытов нельзя удовлетворительно описать в двухфазных моделях (водная и гидрофобная фазы). Был сделан вывод: все реальные системы *in vivo* применительно к метаболизму NO должны рассматриваться как многофазные. В целом стало ясно, что при изучении метаболизма NO и нитрозирования нужно учитывать опыт коллоидной химии и химической кинетики в гетерогенных средах.

Резкая зависимость скорости окисления NO от доли гидрофобной фазы означает, что связанные с NO обменные процессы могут эффективно регулироваться содержанием воды в тканях: при обез-

воживании «автоматически» увеличивается доля липидов, а скорость окисления NO сначала растет, затем падает (рис.3, движение вдоль сплошной линии, например при  $Q = 20$ ). Если зависимость с максимумом оказывается встроенной в регуляторный механизм по принципу обратной связи, возможны ситуации, названные нами NO-катастрофами: при достижении максимума эта обратная связь меняет знак [5]! Например: в жару или в бане из-за обильного потоотделения (испарение пота с поверхности кожи — механизм защиты от перегрева) и обезвоживания скорость окисления NO, а значит, и общее количество оксидов азота в цикле первоначально растут. Эффект известен и ожидаем: расширение сосудов, улучшение кровоснабжения, покраснение кожи... Что случится при «передозировке»? Дальнейшее обезвоживание (пересечение гребня на рис.3) ведет к *уменьшению* скорости окисления NO и общего пула оксидов азота в цикле, сужению сосудов (бледности), ухудшению кровоснабжения. Вспомним драматические картины марафонского забега в жару на Олимпиаде в Афинах. Одна из основных фавориток была на голову выше соперниц в буквальном смысле, больше теряла воды с потом, раньше достигла максимума... Здесь результатом NO-катастрофы была потеря «только» олимпийской медали.



Оказалось, учет мицеллярного катализа не только не конец, а скорее начало: некоторые проблемы остались, среди них — происхождение нитротирозина в составе белков в отсутствие пероксинитрита,\* роль температуры в реакциях нитрозирования и механизмы обеспечения избирательности и регулирования. Проведенный нами анализ привел к совершенно неожиданному выводу: аргументация, использованная при номинации  $N_2O_3$  на роль основного нитрозирующего агента, основывалась на экспериментах, выполненных в гомогенных водных растворах, и недоказательна для гетерогенных систем.

$N_2O_3$  — вещество нестабильное: во-первых, из-за легкости нитрозирования при его участии



когда он выступает как ангидрид кислоты (5); во-вторых, из-за легкости распада по обратной реакции (4), быстро идущей уже ниже  $0^\circ C$ . При окислении NO в водных растворах стационарная концентрация  $N_2O_3$  очень мала, но поскольку ни NO, ни  $NO_2$  сами с водой не реагируют, даже этой малой концентрации достаточно, чтобы в конце концов весь NO превратился в нитрит (4), (5). В гетерогенной среде NO окисляется (2) в основном в гидрофобной фазе, и именно в ней образуется  $NO_2$ . Но что дальше: будет ли он реагировать далее с NO с образованием  $N_2O_3$ , если да, то с чем будет реагировать  $N_2O_3$  (воды в гидрофобной фазе нет!), и, наконец, найдет ли  $NO_2$  в гетерогенной среде подходящего партнера для реакции, помимо NO?

В гидрофобных малополярных растворителях (и в обычных липидах) устойчивость  $N_2O_3$  на порядок ниже: при той же температуре равновесие реакции (4) смещено в сторону  $NO + NO_2$  в гораздо большей степени, чем в полярных, в том числе и в воде (рис.4). Даже если бы константы скорости нитрозирования под действием  $N_2O_3$  в гидрофобных и водных фазах были бы сравнимы, в липидах эта реакция была бы намного медленнее из-за более низкой стационарной концентрации  $N_2O_3$ . Это означает, что в гетерогенных средах NO окисляется быстрее (2), но образующийся в гидрофобных фазах  $NO_2$  может расходоваться по реакциям (4) и (5) менее эффективно, т.е. его стационарные концентрации будут расти.

Какие есть выходы для  $NO_2$ ? Уйти в водную фазу и найти там NO для образования  $N_2O_3$ ? Теперь это сложно: во-первых, в водной фазе уменьшилась концентрация NO (он теперь в основном в гидрофобной фазе); во-вторых, коэффициент распределения для  $NO_2$  тоже больше 1; в третьих, до водной фазы надо еще добратся — в процесс включается диффузия, эффективность которой падает с ростом расстояния. Это означает, что

\* Изомер нитрата со связью O—O; токсин, вырабатываемый макрофагами и другими подобными им клетками-убийцами патогенов и раковых клеток.

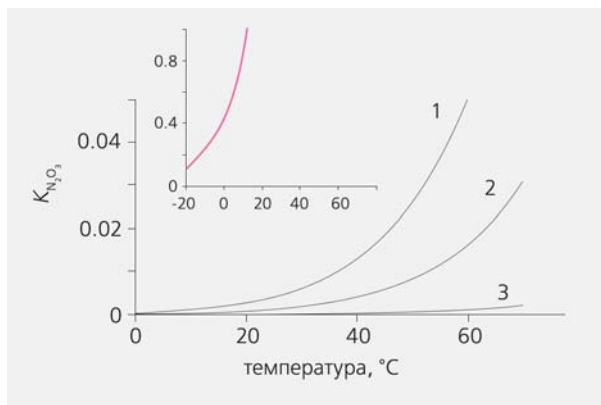


Рис.4. Графики зависимости константы равновесия реакции диссоциации (мера нестабильности)  $N_2O_3$  от растворителя и температуры. 1 — алкан (неполярный растворитель), 2 —  $CCl_4$ , 3 —  $CH_3CN$  (полярный растворитель). На вставке для сравнения показана зависимость для газовой фазы. Сдвиг равновесия в сторону диссоциации  $N_2O_3 \leftrightarrow NO + NO_2$  в липидах и других гидрофобных фазах предопределяет увеличение радикальных реакций в гетерогенных средах *in vivo*.

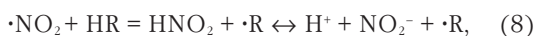
в случае крупных объектов, вроде холестериновой бляшки на стенке сосуда, она неэффективна (рис.5).

Другой выход — образование димера



и его последующий гидролиз до нитрита и нитрата (сравни уравнение (3)).

Есть и третий путь: реагировать по радикальному механизму с очень широким классом соединений (включая белки и нуклеиновые кислоты), которые он способен окислить (часто — просто оторвать протон)



образуя нитрит и новый радикал  $\cdot R$ .

Радикальные пути всегда чреваты неприятностями.  $NO_2$  при этом восстанавливается в нитрит, но из молекул липидов, белков, нуклеиновых кислот и других метаболитов образуются свободные радикалы. Какова их дальнейшая судьба? В лучшем случае они прореагируют с NO, образуя нитрозопроизводное:



или будут восстановлены тиолами (RSH), аскорбатом (витамин С), токоферолом (витамин Е) и другими восстановителями, призванными бороться со свободными радикалами в организме, в худшем — с молекулой  $NO_2$ :



В обоих случаях ((9), (10)) взаимодействуют две

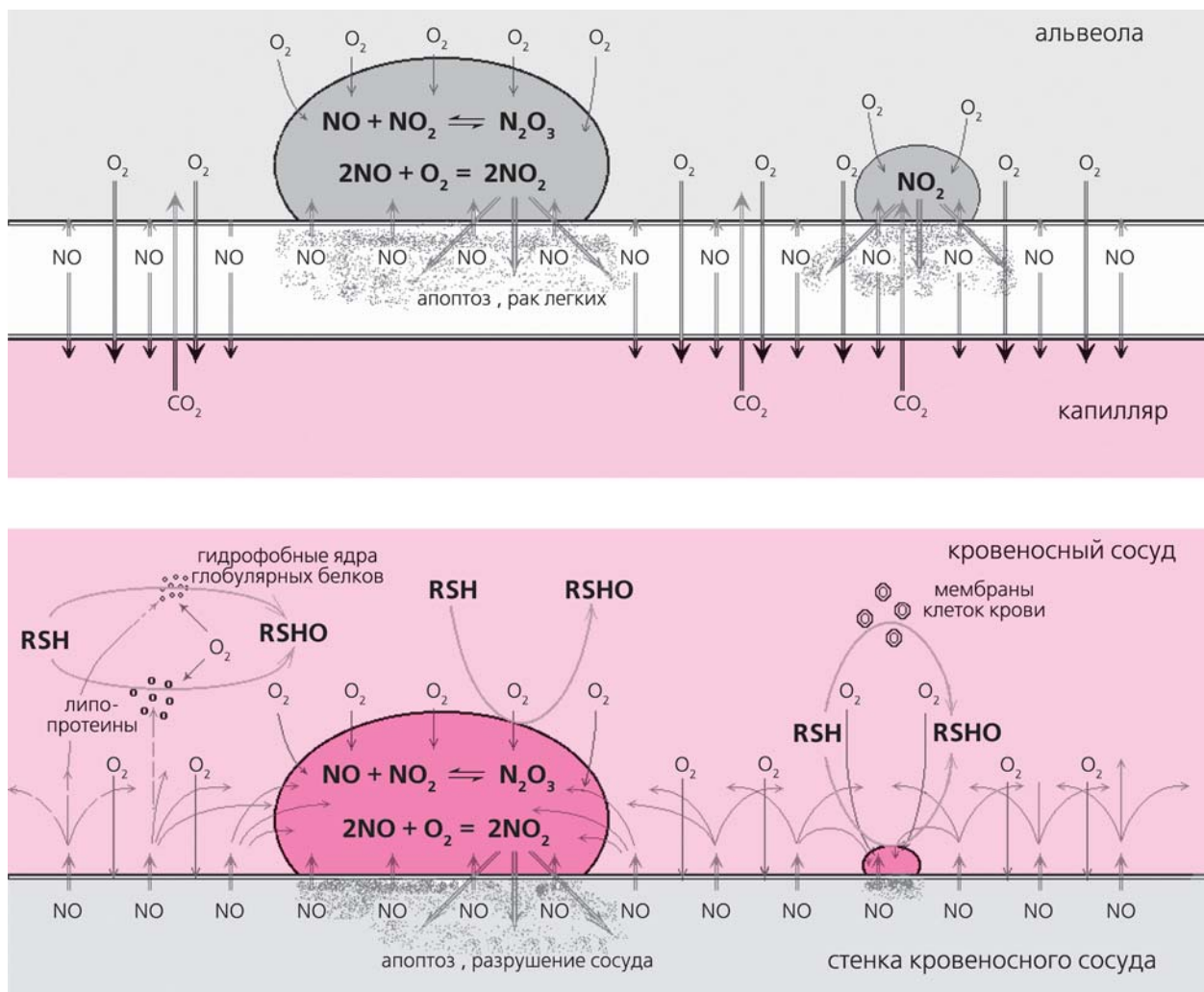


Рис.5. Схема мицеллярного окислительного нитрозирования (МОН). Реакционноспособный свободный радикал  $\cdot\text{NO}_2$  и образующиеся из него высшие оксиды  $\text{N}_2\text{O}_3$  и  $\text{N}_2\text{O}_4$  вступают в серию конкурирующих реакций. Равновесие между оксидами азота в гидрофобной фазе смещено в сторону  $\text{NO}_2$ . Стационарные концентрации поддерживаются реакциями в гидрофобной фазе и транспортом оксидов азота или продуктов в водные фазы. Катализ нитрозирования под действием  $\text{N}_2\text{O}_3$  и  $\text{N}_2\text{O}_4$  снижает концентрации всех высших оксидов, в том числе  $\text{NO}_2$ , и тем самым уменьшает нитрование и другие радикальные реакции. МОН-зависимые механизмы действия двух наиболее грозных убийц сходны — рака легких (вверху) и инфарктов (внизу): капля смолы в легких курильщика и холестериновая бляшка на стенке кровеносного сосуда локализуются рядом с  $\text{NO}$ -продуцирующими клетками, обе — искусственные гидрофобные фазы. Из-за высокой растворимости в гидрофобных фазах концентрация  $\text{NO}$  в бляшке (капле смолы) выше, чем в окружающей водной фазе. Равновесие  $\text{NO}_x$  в гидрофобных фазах изменено в сравнении с водной фазой: стационарные концентрации  $\text{NO}_2$  в гидрофобной фазе много выше, чем в водной. Критическое увеличение концентраций  $\text{NO}_x$  приводит к смене механизма распада  $\text{NO}_x$  с электрофильного (под действием  $\text{NO}^+$ ) на радикальный (под действием  $\text{NO}_2$ ), что вызывает нитрование и окисление биополимеров и метаболитов, апоптоз (программируемую гибель клеток) и/или злокачественное перерождение клеток и другие неприятности.

нечетные молекулы (свободные радикалы) с образованием четной — реакции протекают исключительно эффективно и обычно контролируются диффузией.

Нитрозирование белков в результате мицеллярного окисления позволяет объяснить и селек-

тивность, и эффективность. В случае глобулярных белков в качестве гидрофобной фазы может выступать гидрофобное ядро самой молекулы белка («белки нитрозируются изнутри»), селективность задается избирательной сольватацией оксидов азота и продуктов их превращений и ре-

гулируется структурой самого белка. Энергию для нитрозирования дает реакция окисления NO (2). Значит, ни специальных ферментов, ни дополнительных источников энергии (в том числе АТФ) для нитрозирования не требуется. Для нуклеиновых кислот «лучший случай» (9) ведет к нитрозированию оснований, некоплементарному спариванию, т.е. к мутагенезу. К счастью, в ходе эволюции для защиты от таких событий выработались эффективные защитные и репарирующие механизмы.

По второму сценарию — нитрованию по реакции (10) — образуются нитропроизводные и белков, и нуклеиновых кислот. А это уже ЧП: не случайно уровень нитротирозина в составе белков и в моче — важные диагностические тесты при всякого рода воспалениях и многих патологиях. Нитрование нуклеиновых кислот также не сулит добра: участки нитрозирования и нитрования различны, а системы, защищающие от нитрозирования, могут быть неэффективны против нитрования. Недавно японскими исследователями показано накопление нитрогуанина в ДНК при атипичной вирусной пневмонии [8]. Более того, в опытах на мышах блокада биосинтеза NO эффективно снижала нитрование и тирозина в белках, и гуанина в ДНК, и смертность.

Помимо нитрования, имеются еще более «неприятные» сценарии: свободные радикалы реагируют с обычными метаболитами, образуя новые радикалы, часто более активные и опасные, причем реакционный центр не гибнет, а передается (цепная реакция). Сюда относится перекисное окисление липидов (четная молекула — молекула кислорода O<sub>2</sub>). Крупная молекула, став радикалом, может прореагировать «сама с собой» и образовать внутримолекулярную сшивку (для белков наиболее известны сшивки между двумя остатками тирозина; для ДНК — межцепочечные сшивки, препятствующие нормальному расхождению хромосом при делении клеток), или «порваться» на два фрагмента, один из которых останется радикалом. Здесь мы встречаемся еще с одним парадоксом: свободный радикал NO используется в организме для уничтожения свободных радика-

лов и обрыва радикальных цепных реакций, в том числе образовавшихся в результате превращений того же NO.

В связи с возможными летальными последствиями накопления NO<sub>2</sub>, нитрования по реакции (10) и других радикальных реакций, зададимся вопросом: почему бы в ходе эволюции не появиться основанному на NO<sub>2</sub> механизму защиты от патогенов? Небольшое увеличение температуры ведет к активации NO-синтаз и значительному росту концентрации NO<sub>2</sub> — сначала из-за диссоциации N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (обращение реакции (4)), далее — из-за снижения концентрации N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и уменьшения оттока по реакциям нитрозилирования (6). При заболевании благодаря повышению температуры существенно увеличивается нитрование — его-то мы и определяем по наличию нитрованных белков, нитрогуанина или по возрастанию концентрации нитрата в моче. Человек с давних времен использует местное или общее нагревание как метод лечения (NO-зависимые процессы в народной медицине — увлекательная тема, требующая отдельной публикации).

Выше мы говорили о неизвестном оксиде азота (NO<sub>x</sub>), которому сначала приписывалась ведущая роль в биологическом нитрозилировании и который впоследствии большинство биохимиков признало несуществующим. Когда биохимики его окончательно «похоронили», китайские химики открыли неизвестный ранее изомер N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (цис-, транс). Впрочем, изомерия высших оксидов азота химикам была известна и ранее: и в N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, и в N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> атомы азота в молекулах могут быть связаны и непосредственно, и через атом кислорода. Таким образом, к началу XXI в. стало ясно, что для описания нитрозирования *in vivo* необходим учет изомерии и сольватации высших оксидов азота — фундаментальных областей физической неорганической химии, до сих пор казавшихся бесконечно удаленными от физиологических процессов в организме млекопитающих. А наличие митохондриального катализа заставляет пересмотреть основные представления о метаболизме оксидов азота и возможных путях влияния на этот метаболизм в норме и при всевозможных патологиях. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 02-04-49530 и 03-04-06492.**

## Литература

1. Беда Н.В., Пименова (Сунцова) Т.П., Недоспасов А.А. // Проблемы и перспективы солярической генетики / Ред. Свердлов Е.Д. М., 2004. Т.2. С.237—301.
2. DeMaster E.G., Qast B.J., Redfern B., Nagasawa H.T. // *Biochemistry*. 1995. V.34. P.11494—11499.
3. Wink D.A., Darbysbire J.F., Nims R.W., Saavedra J.E., Ford P.C. // *Chem. Res. Toxicol.* 1993. V.6. P.23—27.
4. Wink D.A. et al. // *Chem. Res. Toxicol.* 1994. V.7. P.519—525.
5. Gordín V.A., Nedospasov A.A. // *FEBS Lett.* 1998. V.424. P.239—242.
6. Liu X., Miller M.J.S., Joshi M.S., Thomas D.D., Lancaster J.R. // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1998. V.95. P.2175—2179.
7. Beda N.V., Suntsova T.P. // *FEBS Lett.* 1999. V.453. P.229—235.
8. Akaike T. et al. // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2003. V.100. P.685—690.

# Водопады Юго-Западного Прибайкалья



А.А.Щетников,  
кандидат геолого-минералогических наук  
И.А.Филинов  
Институт земной коры СО РАН  
Иркутск

**В**одопады — одно из самых красивых явлений природы. Даже небольшие из них приковывают внимание путника, а величайшие издревле наделялись сверхъестественной силой, обожествлялись. Ныне они служат источником эстетического наслаждения, оказывают лечебное воздействие на человека, но также представляют интерес для специалистов — географов и геологов.

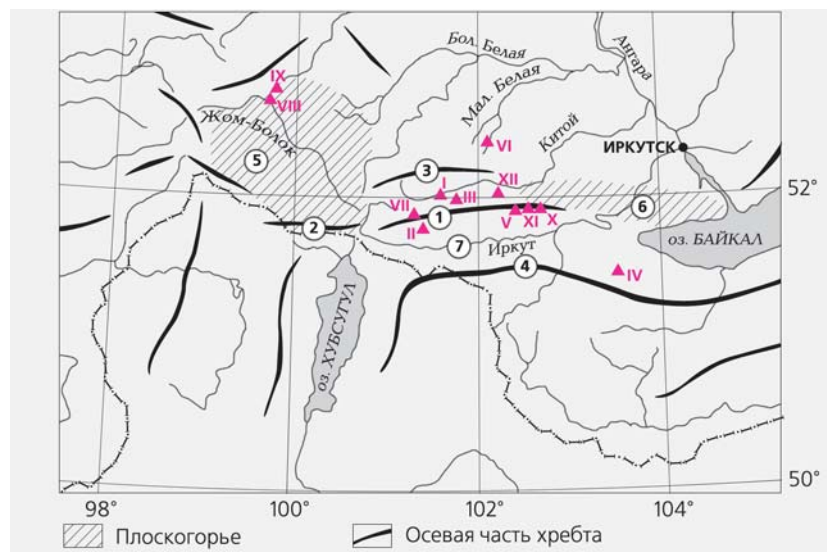
В 1864 г. в газете «Северная пчела», издаваемой в Санкт-Петербурге, появилась заметка о необыкновенных водопадах в горах близ Окинского пограничного поста, западнее оз. Байкал. Сформировавшийся в Иркутске Сибирский отдел Императорского русского географического общества поручил служившему здесь князю П.А.Кропоткину отправиться в верховья сибирской реки Оки для осмотра данного природного явления и попутных исследований. Экспедиция подробно описана им в работе «Поездка в Окинский караул» (1867). Общегеографические сведения, изложенные в ней, и по сей день не теряют своей актуальности.

Центральная часть Юго-Западного Прибайкалья входит в состав современного Тункинского национального парка, своеобразные ландшафты которого сопоставимы с красотой и достопримечательностями Байкала, в том числе благодаря живописным водопадам. Последние по своему происхождению делятся на пять разновидностей: обусловленные ледниковой эрозией; возникшие в результате активных тектонических

смещений крупных блоков земной коры; созданные карстовыми процессами; появившиеся из-за особенностей геологического строения района — выхода на поверхность горных пород различной прочности, при пересечении водотоками обвалов и оползней и, наконец, полигенные — порожденные комплексом факторов.

Горное обрамление Тункинской рифтовой долины (за исключением Олхинского плоскогорья) испытало влияние сравнительно недавнего горно-долинного оледенения. Оно оставило хорошо выраженные свидетельства своей активной деятельности в Тункин-

ских и Китойских Гольцах, хребте Мунку-Сардык (самом высоком в Прибайкалье, около 3491 м), где и сейчас существуют небольшие ледники. Водопады — примечательный элемент подобного ландшафта. Они наиболее многочисленны и часто достигают высоты 40–50 м, а каскады — более 100 м. В каровых, выпаянных ледниками долинах, особенно в Тункинских Гольцах, существуют целые гирлянды, когда из одного озера через уступ вода низвергается в другое, из него — в нижерасположенное и т.д. Причем водотоки вниз по течению становятся агрессивнее и формируют глубокие (до



Расположение водопадов Юго-Западного Прибайкалья. Треугольниками обозначены водопады на реках Китой (I), Ихе-Ухгунь (II), Ара-Ошей (III), Подкомарная (IV), Кынгарга (V), Ара-Хонголкой (VI), Малая Белая (VII), Бога-Жом-Болок (VIII), Сайлаг (IX), Хурай-Хобок (X), Шихтолайка (XI), Шумак (XII). Цифрами в кружках показаны хребты Тункинские Гольцы (1), Мунку-Сардык (2), Китойские Гольцы (3), Хамар-Дабан (4) и плоскогорья Окинское (5), Олхинское (6), Тункинская рифтовая долина (7).

© Щетников А.А., Филинов И.А., 2005





Водопад на р.Ара-Ошей.



Ледопад на р.Шумак.

40-метровый двухступенчатый водопад на р.Подкомарной. Хребет Хамар-Дабан.

Фото В.Петухина



Описанный еще 140 лет назад князем П.А.Кропоткиным 22-метровый водопад на р.Бога-Жом-Болок.



Водопад на р.Сайлаг.

Фото авторов

100 м) узкие каньоны, протяженностью порой в несколько километров. На входе в скальный коридор каньона Верхние Щеки р.Китой шириной 40 м сужается до 3–4 м и под углом 50° мощной струей падает с высоты 5 м, а после широкого плеса вновь низвергается с высоты 4 м. В подобной геоморфологической обстановке сформировались водопады в Тункинских Гольцах и на р.Ихе-Ухгунь, в 3 км выше по течению от впадения в нее р.Убурт-Хонголкой. Грандиозное впечатление производит 40-метровый двухступенчатый каскад практически свободного падения на р.Подкомарной на хребте Хамар-Дабане. Привлекательность этих динамичных природных объектов подчеркивает красота местных альпийских ландшафтов.

Водопады тектонического типа широко развиты на краевых сбросовых уступах, обрамляющих

поднятия Тункинских Гольцов и Мунку-Сардыка. Наиболее известный представитель данной группы, занесенный во все кадастры памятников природы Прибайкалья, расположен на р.Кынгарге близ курорта Аршан. Две мощные, огибающие на гребне каменный выступ и ниже сливающиеся дугообразные струи рушатся с высоты 6 м в исполинский котел. Водный поток, врезааясь в каменный порог, сложенный докембрийскими кристаллическими сланцами, сформировал в нем узкую щель. За истекший век водопад стал на 3 м ниже. (В 1909 г. его высота составляла 9 м.) В зоне краевого сброса Тункинских Гольцов долина Кынгарги резко сужается, образуя глубокое, практически лишенное поймы ущелье. Наклон дна становится круче. Высокие скалистые стены ее бортов у водопада почти смыкаются. Во время селевых паводков он многократно увеличивает свою мощь. Бушующая стихия в горловине долины на выходе из гор обретает дополнительную энергию, и водо-каменный поток выносится далеко на предгорную наклонную равнину. По краю ущелья-клямма к водопаду ведет труднопроходимая и небезопасная, но тем не менее всегда людная тропа. Туристов привлекает первозданная красота этих мест.

Интересен пятиметровый водопад на р.Малая Белая, пересекающей зону Главного Саянского разлома, хорошо выраженного в рельефе. Заметим, что на всех других реках в этом районе ничего подобного нет, хотя крупные пороги и водоскаты многочисленны.

В геологическом строении Юго-Западного Прибайкалья существенную роль играют карбонатные породы (преимущественно известняки), широко распространенные в Тункинских и Китойских Гольцах, Окинском плоскогорье. Различные формы поверхностного карста пространственно тяготеют к зонам интенсивной трещиноватости горных слоев вдоль активных разломов. Здесь

ложе речных долин местами приобретают ступенчатый профиль. В обрамлении белоснежных каменных зубьев-останцов можно наблюдать небольшие, но живописные каскады (скажем, в верховьях р.Ара-Хонголкой, правого притока уже упомянутой Китой).

Водопады, возникшие в результате эрозионных процессов, препарирующих геологический субстрат, своими структурно-литологическими особенностями определяют создание крутых уступов. Так происходит главным образом на участках, где распространены молодые базальтовые покровы и долинны лавовые языки. Реликты кайнозойских базальтовых плато распространены в верхнем ярусе рельефа западного Хамар-Дабана и Окинского плоскогорья. В четвертичное же время (1–2 млн лет назад) здесь изливались преимущественно долинны лавовые потоки. Ими заполнены днища в верхнем течении рек Джиды, Большого и Малого Енисея, а также Жом-Болок на всем ее протяжении в 70 км.

Наиболее интересны мощные каскады на реках, глубоко врезанные в долины. Самый известный — 22-метровый водопад — крупнейший из тех, которые когда-то отправился искать князь Кропоткин. Расположен он при впадении р.Жом-Болок в Оку, прорезающую глубоким (30 м) каньоном фронтальную часть голоценового лавового потока. Жом-Болок в нескольких километрах от устья разделяется на два рукава. Главный из них чуть ниже раздвоения русла врезается в базальты мощностью 20–25 м и пропиливает их до основания, не образуя водопадов. А узкий рукав — Бога-Жом-Болок, шириной не более 3 м (в паводок — до 8,5 м) и глубиной до 1 м, — течет по плоской поверхности застывшей лавы до отвесного края каньона и по дуге низвергается в него. Водоток активно смещается вверх по течению, и в базальтах выработалась глубокая (почти до уровня воды Оки), с уходящими вверх стенками про-

моина протяженностью около 100 м и шириной 40–50 м. В межень падающая вода не достигает эрозионного «котла», орошая глыбовую осыпь. Однако в большие паводки ее масса способна выносить из промоины огромные (более 1 м<sup>3</sup>) базальтовые глыбы, лежащие на ее дне. Для местных жителей этот водопад — священное место.

Сам Жом-Болок имеет поверхностный сток лишь от оз.Бурсуг-Нур, расположенного в средней части долины. До этого места почти 30 км он следует внутри или под заполняющей днище застывшей лавой, толщина которой достигает 200 м. Вполне вероятно, что на данном участке он образует подземные водопады.

К этой же группе относятся живописные, относительно невысокие (до 7 м) водопады на р.Сайлаг — левом притоке Оки. В своей приустьевой части он образует узкое ущелье со ступенчатым рельефом.

Характерные водопады, возникшие в результате действия комплекса геологических факторов, находятся в верховьях рек Хурай-Хобок, Шихтолайка и др. Они образуются и на временных водотоках, на склонах долин, выпаянных ледниками, скальных выступах в ущельях. Тонкие струи часто спускаются каскадами почти от самых вершин, но функционируют недолго — в период снеготаяния и после дождей.

Отметим, что внутригодовой режим стока рек Юго-Западного Прибайкалья своеобразен. В весеннее половодье большая вода — редкость, а вот летние паводки порой достигают катастрофической силы. На р.Иркут, например, минимальный расход в устье порой не превышает 20 м<sup>3</sup>/с, а максимальный достигает 4800 м<sup>3</sup>/с.

Зимой некоторые водопады, замерзая, образуют причудливые ледяные формы, и тогда к ним устремляются не только туристы, но и альпинисты, штурмующие вертикальные натеки льда, возвышающиеся на десятки метров. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 03-05-64898 и 05-05-64373.**



# Степнякские гипергенные яшмы Северного Казахстана

Э.М.Спиридонов,

доктор геолого-минералогических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Яшмы — хорошо известные, особенно в нашей стране, самоцветные камни. Это целый мир плотных разнотипных пород кремнеземистого состава, почти бесконечное разнообразие окрасок и текстурных рисунков. В изделиях рук человека они известны с палеолита. В античное время из них, наряду с агатами, вырезали печатки, геммы и амулеты, а также делали статуэтки и мозаичные панно. В более поздние времена из яшм изготавливали вазы, столешницы, мелкие изделия, отделявали

ими колонны и другие детали интерьера. По масштабам использования этих пород в камнерезном и ювелирном деле наша страна занимает одно из первых мест в мире. Достаточно вспомнить о яшмовом убранстве Эрмитажа.

Большинство яшм суть тонкокристаллические метаморфические породы существенно кварцевого и халцедон-кварцевого состава, окрашенные гематитом, оксидами марганца, а также железистыми или марганцовистыми гранатами и другими силикатами — эпидотом, хлоритом, пумпеллиитом, актинолитом, пьезонитом. Мно-

гочисленны месторождения полосчатых, пятнистых, брекчиевидных, пейзажных яшм. Они принадлежат к классу метаморфизованных осадочных и гидротермальноосадочных кремнистых, кремнисто-обломочных, карбонатно-кремнистых, вулканогенно-кремнистых пород и размещаются в зеленокаменных поясах Урала (от Южного — Орское, Калканское, Муддакаевское, до Приполярного), на Алтае (Колыванское, Ревневское...), в Средней Азии, Казахстане, на Дальнем Востоке. Большой частью эти яшмы — производные пренит-пумпеллиитовой фации

© Спиридонов Э.М., 2005



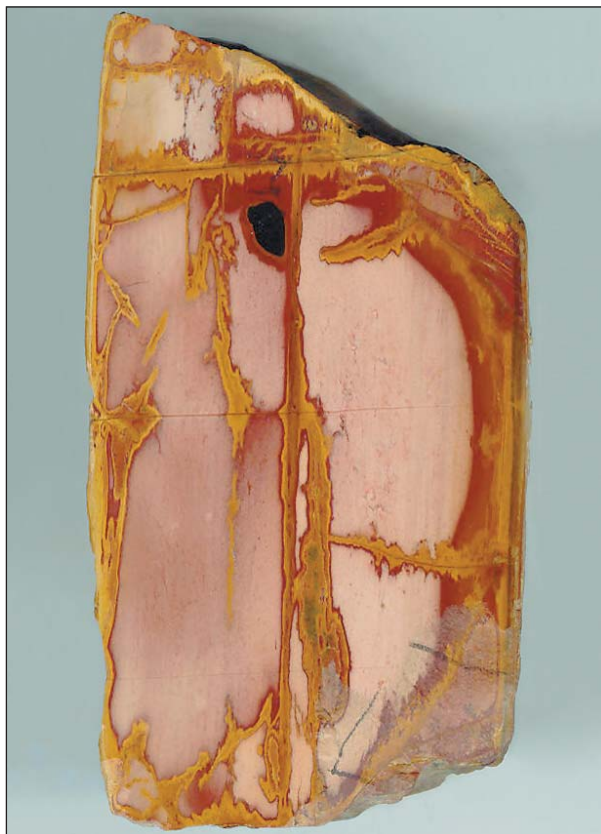
Вдоль желто-терракотовых зон гетита и халцедона развиты черные гидроксиды марганца. Северный Казахстан. Сопки Чиндауляй.



Обильные скопления черных оксидов марганца и красные полосы тонкозернистых агрегатов халцедона с оксидами железа в яшмах. Сопки Чиндауляй.



«Восточный ковер» из степнянских яшм Северного Казахстана.



Гипергенные яшмы инфильтрационного генезиса. Северный Казахстан. Берега оз.Мамай.

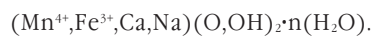
Фото автора

регионального низкоградного метаморфизма, т.е. были сформированы при температуре около 300°C и давлении 2500–4500 атм.

Благодаря подвижности кремнезема, железа и марганца в корках выветривания в районах аридного и полуаридного климата относительно широко распространены яшмы другого генезиса — гипергенные, образованные при поверхностных изменениях пород и минералов. Они установлены в полосе от Южного Урала до Алтая. Эффектные гипергенные инфильтрационные яшмы обнаружены нами в Северном Казахстане у подножий и на склонах сопки к юго-востоку от г.Степняк (сопки Чиндауляй) и по берегам оз.Мамай.

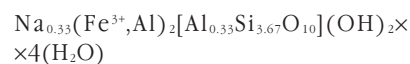
На сопках Чиндауляй выветрелые белесые глинисто-кремнистые и кремнистые породы ранне-

го палеозоя замещены по многочисленным трещинам зональными полосками микрозернистых и микросферолитовых агрегатов оксидов железа и халцедона  $\text{Si}[\text{SiO}_4]_{1-x}[(\text{OH})_4]_x$ . Здесь встречаются гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с халцедоном (полоски красного и ало-красного цвета), лепидокрокит  $\gamma\text{-FeO(OH)}$  с халцедоном (розового и розово-красного цвета), гетит  $\alpha\text{-FeO(OH)}$  с халцедоном (желтого и терракотового цвета). По оси выделений гетита нередко развиты черные гидроксиды марганца, близкие к вернадиту



Ширина зон с железисто-кремнистыми новообразованиями от 0.5 мм до 12 см. В белесых участках иногда встречаются обильные прожилки тонкозернистых агрегатов халцедона и оксидов марганца.

У подножия сопки развиты гипергенные яшмы иного типа — без гетита, с тонкораспыленным гематитом, чаще в виде микросферокристаллов и мелких сферолитовых агрегатов с халцедоном. Скопления гематита и халцедона рассеяны густой сетью прожилков и микрозернистых нонтронит-халцедоновых агрегатов темно-зеленого и зеленого цвета. В центре некоторых нонтронитовых



образований развиты тонкие просечки оксидов марганца. В целом — восточный ковер.

Эти яшмы, хотя они заметно мягче стандартных, очень хорошо полируются. Размер отдельных блоков гипергенных степнянских пестрых яшм колеблется от 20 до 50 см. ■



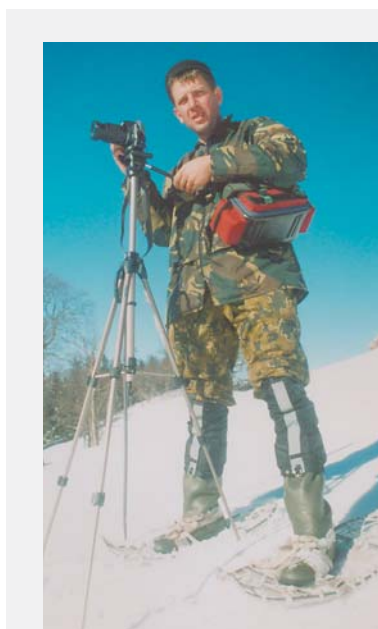
# Горный зубр

С.А.Трепет

**З**убр (*Bison bonasus*) — единственный дикий вид подсемейства бычьих (Bovinae), уцелевший в Европе до наших дней. В голоцене и в раннеисторическое время он обитал почти на всей территории Европы за исключением ее северной части [1]. К началу XVIII в. единый ареал зубра распался на несколько изолированных участков, а к началу XIX в. вольные стада сохранились лишь в Беловежской пуще и на Северо-Западном Кавказе [2, 3]. Спустя столетие и эти популяции были уничтожены: последний зубр беловежского подвида (*B.bonasmus bonasus*) убит в 1921 г., кавказского (*B.bonasmus caucasicus*) — в 1927 г.

Таким образом, в начале XX в. вид самого крупного копытного животного Европы был полностью истреблен в естественной среде обитания; осталось лишь 48 зубров, содержащихся в различных зоопарках. Потребовалось около семидесяти лет разведения (сначала в зоологических садах и специализированных питомниках, позже в природе), чтобы увеличить численность зубров и создать вольные популяции в различных частях бывшего ареала.

Современные зубры несут геномы неродственных 12 живот-



**Сергей Алексеевич Трепет**, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и заповедного дела Майкопского государственного технологического университета, старший научный сотрудник Кавказского государственного природного биосферного заповедника. Область научных интересов — популяционная экология, территориальная охрана природы.

ных-основателей: 11 зубров беловежского подвида, родившихся в начале XX в. в питомнике Беловежской пущи, зоопарках Берлина и Будапешта, охотничьем парке «Пщина» (Верхняя Силезия), и одного самца кавказского подвида, который был пойман в горах Северо-Западного Кавказа в 1907 г. и привезен в Гамбург. Выделено две линии разведения — беловежская и кавказско-беловежская, которые в соответствии с Междуна-

родным кодексом зоологической номенклатуры (1988) относятся к чистокровным особям данного вида. Выведение горной линии (потомков 13 зубров беловежского подвида, самца кавказского и трех степных бизонов) было вызвано желанием воссоздать или создать популяцию зубра на Кавказе взамен утраченного подвида. В результате племенной работы, которая проводилась параллельно с мероприятиями по адаптации жи-

© Трепет С.А., 2005

вотных к обитанию в горных экосистемах, к середине 1980-х годов сформировалась крупнейшая в мире (1300 особей) уникальная популяция диких зубров, которые фенотипически наиболее близки к аборигенному кавказскому подвиду и почти не несут признаков специфического сходства с бизонами. Вместе с тем в результате адаптации к локальным условиям возникли новые признаки, отличающие горных зубров от любой из их предковых форм, что позволило присвоить горным зубрам статус подвида — *V. bonasus montanus* [4].

В настоящее время на территории Кавказского заповедника обитает около 200 горных зубров, и других вольных группировок на Кавказе практически уже нет.

## Домбай

Дикий бык — домбай (одно из местных названий зубров) обитал в горах Западного и Центрального Кавказа с незапамятных времен, однако в научных кругах о его существовании узнали лишь в конце XIX в. Многие натуралисты России и Европы, известные исследователи Кавказа (А.Ф.Виноградов, Г.И.Радде, Н.Я.Динник, К.А.Сатунин, Д.П.Филатов) занялись изучением кавказского зубра и прежде всего попытались очертить его ареал, однако «его истребление, — писал Филатов, — подвигалось вперед значительно быстрее, чем изучение». Действительно, подвид исчез с лица Земли, а описания морфологических и поведенческих признаков этого зверя полны серьезных расхождений и противоречий. Так и не сложилось общего мнения среди исследователей по поводу динамики численности кавказского зубра в минувшем столетии. Мало что известно о его реакциях на воздействия внешней среды, и можно только догадываться о приспособлениях, позволявших ему существовать в горах



Современный горный зубр.

Фото автора

Кавказа. Теперь уже невозможно определить структуру, показатели плодовитости и смертности аборигенного зубра, выяснить все причины, приведшие некогда многочисленную популяцию к поголовной гибели. Впрочем, основные причины все же известны.

По-видимому, именно охота на зубров стала причиной их исчезновения на большей части ареала еще до начала боевых действий в нагорной полосе Закубанья, в частности, в Дигории, в верховьях Уруха, Абхазии, позже в бассейне Большого Зеленчука и Большой Лабы. С на-



Домбай — аборигенный кавказский зубр, который отличался от своего беловежского сородича курчавой шерстью, характерным изгибом рогов и более легким сложением.

Фото из архива заповедника



чалом Кавказской войны восточная граница области обитания зубра начала стремительно продвигаться на запад, к долине Большой Лабы. Сокращение численности и ареала зубров несколько замедлилось лишь в период послевоенного безлюдья, однако в 80-х годах XIX в. предгорья Закубанского края, где еще обитали кавказские зубры, начали осваивать новые поселения. «Огромное количество дичи, в том числе и зубров, гибнет от рук охотников, живущих в горах и предгорьях. В нижнем поясе гор они производят такое же страшное варварское истребление дичи, как пастухи на альпийских лугах и высоких скалах, причем истребляют зверей круглый или почти круглый год», — писал в начале XX в. известный путешественник, натуралист, любитель и ценитель природы Кавказа Н.Я.Динник [5]. Примечательно еще одно его замечание: «Охотничьи законы для большей части этой братии не писаны, и они бьют без всякого сожаления коз и ланей даже тогда, когда они готовы отелиться или ходят с молодыми». В это же время началась промышленная заготовка леса, а высоко-

горные пастбища стали заполняться новыми стадами домашних животных. Именно в этот период сюда был занесен ящур, после эпизоотии которого, по словам Динника, «даже через десятки лет прежнего количества дичи охотникам уже не приходилось наблюдать».

Единственным прибежищем зубров на Кавказе стала территория Кубанской охоты — участок площадью около 480 тыс. десятин в лесных дачах Министерства государственного имущества и Кубанского областного военного управления. Место выбрал знаток Кавказа, бывший управляющий кавказскими охотами Ф.И.Краткий. Обследовав Большой Кавказский хребет от верховьев Большой Лабы до Белой, он обнаружил здесь изобилие благородных оленей, высокогорных копытных, а также следы пребывания зубров. В 1888 г. был заключен контракт с Кубанской радой, и великие князь Петр Николаевич и Георгий Михайлович Романовы получили исключительное право охоты на северном склоне Большого хребта. Границы арендованного участка проходили: на юге — по Главному Кавказ-

скому хребту, составляющему границу между Кубанской областью и Черноморским округом; на востоке — по реке Большая Лаба; на западе — по реке Белая; а на севере — вдоль Передового хребта, по линии селений Хамышки — Новопрохладное (Сахрай) — Псебай.

В 1892 г. право на пользование этими землями приобрел великий князь Сергей Михайлович, сыгравший большую роль в сохранении жизнеспособных популяций хищных и копытных животных на Западном Кавказе, в том числе и аборигенного зубра. Очарованный красотой края, подробно описанной в воспоминаниях одного из участников княжеских охот В.А.Шильдера [6], великий князь организовал хорошую охрану охотничьих угодий. У егерской охраны были широкие полномочия, но ее служащие имели право стрелять только хищных зверей и диких кабанов. Примечательно, что августейшему охотнику самому приходилось брать специальное разрешение у государя на отстрел зубров, охота на которых с 1867 г. была запрещена на территории всей Российской Империи [7]. За все же время существования Кубанской охоты было отстреляно не более десятка этих животных.

И запрещение охоты на зубра, и организация Кубанской охоты в районе обитания его кавказского подвида стали, к сожалению, лишь отсрочкой его гибели. В 1909 г. срок аренды закончился, и в 1906 г. рада Кубанского казачьего войска приняла решение о разделе всех земель горной полосы Кубанской области между 135 станицами для хозяйственных (лесопромышленных, охотничьих и пастбищных) нужд. После этого решения «браконьеры сделались такими смелыми и дерзкими, что почти перестали обращать внимание как на лесную стражу, так и на егерей, оберегающих дичь, и иногда целыми толпами отправлялись в леса на охоту... Зубров они убивали для



Участники Кубанской охоты. В центре — великий князь Сергей Михайлович.

Фото из архива заповедника



того только, чтобы убить, и трупы их бросали на съедение хищным зверям» [5]. Началась передача в аренду «под устройство зимовок и хуторов массы полян в долинах горных речек вблизи их верховьев, а также вообще в нижнем поясе гор, т.е. в таких местах, куда зубры и другая горная дичь спускаются в снежные зимы» [5].

Постепенно все большая часть привычных зимовок оказывалась недоступной для зубров, сокращалась и площадь летних горно-луговых местобитаний. Преследуемые человеком животные, утратив возможность привычных и периодичных миграций, отеснялись из предгорий северного макросклона (интенсивно осваиваемых бассейнов рек Сахрай, Куна, Ходзь и др.) на юг, в долины Киши и Шиши и далее за р. Уруштен в восточную часть организованного к тому времени Кавказского заповедника. Численность зубров стремительно сокращалась: к началу 20-х годов XX в. выжило не более 50 животных, а к концу десятилетия были уничтожены последние экземпляры аборигенного кавказского зубра. Неоднократные попытки найти уцелевших животных в самых труднодоступных участках горных долин не увенчались успехом, и это только подтвердило полное их исчезновение.

## Годы смятений и свершений

Собственно, ради спасения зубра в 1909 г. Х.Г.Шапошников — лесничий Белореченского лесничества Кубанского войска, страстный натуралист, ученый и коллекционер — начал бороться за создание заповедника. Добился он этого лишь в 1920 г., когда вышло постановление Кубано-Черноморского Ревкома об организации Кубанского высокогорного заповедника. Однако финансирование его началось спустя четыре го-

да, когда был принят декрет, подтверждающий существование заповедника, который переименовали в Кавказский зубровый, хотя к тому времени уже не было уверенности, что зубр сохранился на Кавказе. Шапошников вынес всю тяжесть организационных неурядиц в подготовительный период и в первые годы существования заповедника. Судьба этого человека — основателя и первого директора Кавказского заповедника — трагична, как и судьба зубра, за спасение которого он боролся. В 1937 г. Христофор Георгиевич был арестован, а 25 февраля 1938 г. расстрелян. Погибла богатейшая коллекция насекомых, созданная им, все бумаги, библиотека.

Кавказский заповедник пережил трудные годы становления, войну, разгром заповедной системы СССР в 1951 г. В 1979 г. он получил статус биосферного, а в 1999 г. территория заповедника включена в список Всемирного природного наследия ЮНЕСКО.

Восстановление зубра на Кавказе началось в конце 30-х годов, когда в заповедник из Аскании-Нова завезли пять зубробизонов. До 1959 г. их потомство скрещивали с чистокровными самцами зубров кавказско-беловежской линии при полном отстранении от размножения гибридных самцов, и уже к началу 60-х годов примесь бизона удалось снизить до 5.6%\* [8]. С 1960 г. зубры перешли к дикому образу жизни, и в размножении стали участвовать самцы гибридогенного происхождения.

Селекционная работа по выведению зубра, пригодного

\* Для сравнения: по принятым критериям для лошадей Пржевальского, предназначенных для разведения, генетический материал домашней лошади в среднем составляет 6% и допускается не выше 15% от генетического пула родоначальников. (Рекомендации, выработанные на совещании экспертов ФАО/ЮНЕП по восстановлению лошади Пржевальского в Монголии // Сб. мат. совещ. экспертов ФАО/ЮНЕП СССР 29—31 мая 1985 г. М., 1988. С.8—26.)



С.Г.Калугин (1907—1977).

к обитанию в сложных условиях сильно пересеченной горно-лесной местности, проводилась параллельно с адаптацией и натурализацией животных на Кавказе. Эта работа легла в основном на плечи С.Г.Калугина. «Большую часть времени он проводил на территории заповедника — потомок терских казаков, в неизменной черной бурке, верхом на коне — высококом сером Руслане — он стал частью горных ландшафтов, словно пастух, обозревая стада могучих зубров», — записано в «Книге памяти Кавказского заповедника».

По научным публикациям Калугина, посвященным размножению, смертности, питанию, расселению и поведению зубров на различных стадиях загонного, а затем и вольного содержания, можно проследить процесс утверждения этих животных в горно-лесных биотопах до середины 70-х годов прошлого столетия. Вместе с В.Н.Александровым и К.Ю.Голгофской он обследовал ареал зубров в заповеднике и вблизи его границ, что позволило выявить состав, запасы и доступность зимних кормов для зубров в границах их потенциального пастбищного пространства и определить возможности роста популяции без ущерба для зимних стадий.



А.С.Немцев (1951—2001).

Начиная с 1973 г. эти исследования продолжил ученик Сергея Гавриловича — А.С.Немцев. К сожалению, в 2001 г. он погиб в авиакатастрофе, но осталось более 70 его работ, в которых приведены особенности биологии восстановленных животных, рекомендации по их охране и использованию. Александр Степанович обладал незаурядными профессиональными и редкими человеческими качествами. Он был в приятельских отношениях с огромным количеством людей, имевших хотя бы какое-то отношение к животным и к лесу: от ученых и охотоведов до простых охотников. В горах и в лесу он чувствовал себя как дома, проводя на полевых работах до ста дней в году. Ему была прекрасно известна не только территория заповедника, но и обширные местообитания зубров за его пределами.

Результаты исследований Немцева вошли в недавно изданную прекрасно иллюстрированную коллективную моногра-

фию «Зубр на Кавказе», содержащую как новые, так и ранее опубликованные данные по истории развития, морфологии, генетике, экологии зубров Кавказа [9]. Особое внимание уделено современным горным зубрам Северо-Западного Кавказа и их роли в восстановлении вида в целом.

Так, ценой колоссальных усилий и материальных затрат в верховьях рек Белой и Малой Лабы создана репродуктивно независимая популяция горных зубров, которые по всем показателям наиболее близки к аборигенным. Изучение морфологических, генетических, адаптационных и экологических особенностей горного зубра позволило выделить его в отдельный подвид [4]. Его ареал в настоящее время охватывает часть территории Кавказского заповедника, а также сопредельные уголья на северном макросклоне Главного Кавказского хребта, расположенные в основном в Республике Адыгея, Краснодарском крае

и, незначительно, в Карачаево-Черкесской Республике.

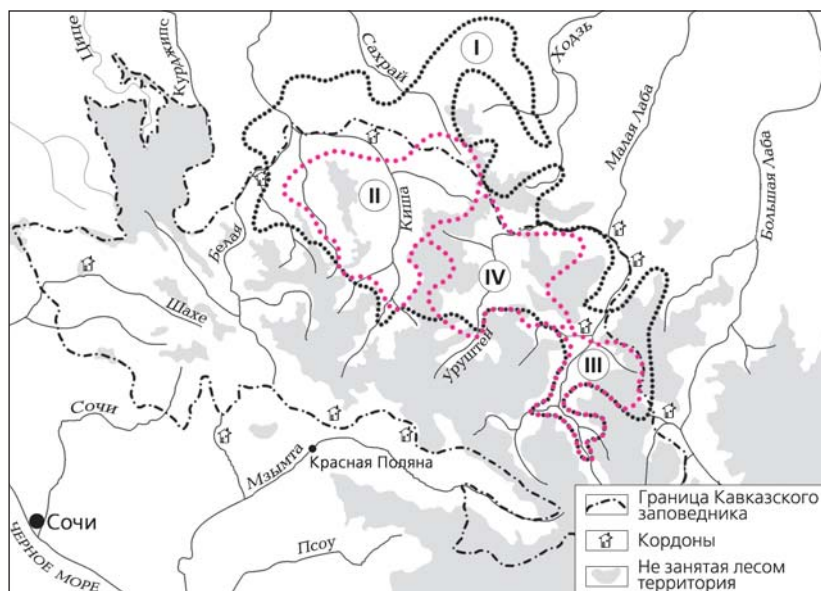
## Новая история зубра

Ареал восстановленного горного зубра близок к району обитания аборигенного зубра на рубеже XIX—XX вв., и, судя по всему, достиг максимума к середине 1980-х годов: животные освоили около 65 тыс. га пастбищных пространств в границах заповедника и около 50 тыс. га — за его пределами. Общая численность горного зубра превысила 1300 особей, что гарантировало формирование естественной демографической и генетической структуры популяции, состоящей из нескольких территориальных группировок различного ранга. Каждая из этих группировок обладала репродуктивной самостоятельностью и экологическим своеобразием, которое зубры приобрели, приспособившись к разнообразнейшим природным условиям и соседству с человеком.

На охраняемой территории круглогодично обитала примерно половина популяции зубров (Уруштенская и Умпырская группировки). Эта резервная часть поголовья была гарантирована от прямого истребления, контактов с домашним скотом и т.д. Вне заповедника постоянно жили не менее 250 особей, обеспечивающих устойчивый рост численности всей популяции за счет высоких темпов локального воспроизводства (Кунская группировка и часть Кишинской в верховьях Сахрая). Номадная, или мигрирующая, часть населения, объединяющая ежегодно в периоды сезонных кочевок до трети общего поголовья, поддерживала оптимальную численность зубров в пределах ареала (часть Кишинской группировки, занимающая долину Шиши).

Как и истребленные аборигены, восстановленные горные зубры были привязаны к лесу,

Ареал горных зубров Северо-Западного Кавказа в 1984—1988 гг. (черный пунктир) и в 2000—2005 гг. (красный пунктир). Римскими цифрами отмечены территории, занимаемые отдельными группировками: I — Кунской, II — Кишинской, III — Умпырской, IV — Уруштенской.



где находили достаточно корма и защиту, особенно в суровые и многоснежные зимы. Однако в 90-х годах благоприятные для обитания зубра районы этой части Кавказа стали зоной экономической нестабильности. Вызванное кризисом беспрецедентное браконьерство привело к резкому сокращению численности зубров, разрушению их локальных группировок за пределами Кавказского заповедника и трансформации пространственной и демографической структуры всей популяции.

Безусловно, зубры истреблялись злоумышленниками всегда, даже в период вольерного содержания [10]. Но в конце XX в. браконьерство достигло масштабов стихийного бедствия. В 1989—1997 гг. охотники убили 40 зубров (т.е. 15% от всех погибших по разным причинам) на территории заповедника и 144 зубра (или 57%) расстреляно в местах их зимнего скопления — в прилегающих к территории заповедника Даховском и Псебайском заказниках, созданных собственно ради охраны лесных копытных. Как правило (в 78% случаев), жертвами охоты становились откочевывавшие на зиму из заповедника самки — самая продуктивная часть популяции.

В начале 1990-х годов стало очевидно, что группировки зубров, обитающих за пределами заповедника, обречены [11]. Не только браконьерство, но и сокращение площади еще не освоенных человеком предгорных пастбищ обусловило демографическую нестабильность и стало причиной стремительного падения численности зверя (свыше 30% в год, что вдвое больше по сравнению с предыдущим десятилетием). Первой исчезла наиболее удаленная от границ заповедника Кунская группировка зубров, занимавшая территорию, где возобновилась лесозаготовка.

На территории Кавказского заповедника наибольшие потери зубров зарегистрированы в 1994—1995 гг., когда их численность сократилась сразу на 35%, при этом взрослых самок погибло чуть ли не вдвое больше, чем самцов (42% и 27% соответственно) [9]. Более всего пострадала самая крупная и сложно организованная Кишинская группировка. Зубры этой группировки обитали в наиболее выгодных условиях и занимали в конце 80-х годов 44.5% от всего ареала. В зимний период они откочевывали на малоснежные пастбищные пространства, расположенные по северной пери-

ферии Кавказского заповедника. Протяженность миграционных путей составляла здесь не менее 30 км, а перепад высот достигал 1800 м [9]. Кишинская группировка выполняла ключевую роль в процессах становления всей популяции горных зубров на Кавказе — устойчивом воспроизводстве и внутривидовой авторегуляции [9]. К настоящему времени плотность некогда многочисленной Кишинской группировки (в совокупности с Кунской она составляла свыше половины всей зубровой популяции Кавказа) снизилась по сравнению с 80-ми годами с 8.9 до 1.2 зубров на 1000 га.

Серьезные потери понесла и Умпырская группировка зубров, ареал которой сократился с 18.6 до 9.9 тыс. га, а плотность — с 15.1 до 1.5 особей на 1000 га. В прежние годы эта группировка составляла около 20% от всей популяции, теперь же ее численность в летний период достигает лишь 35—40 особей, большинство из которых к началу зимы покидают этот район.

Интересные изменения затронули Уруштенскую группировку зубров, занимающих территорию в центре ареала. Она сократилась менее других



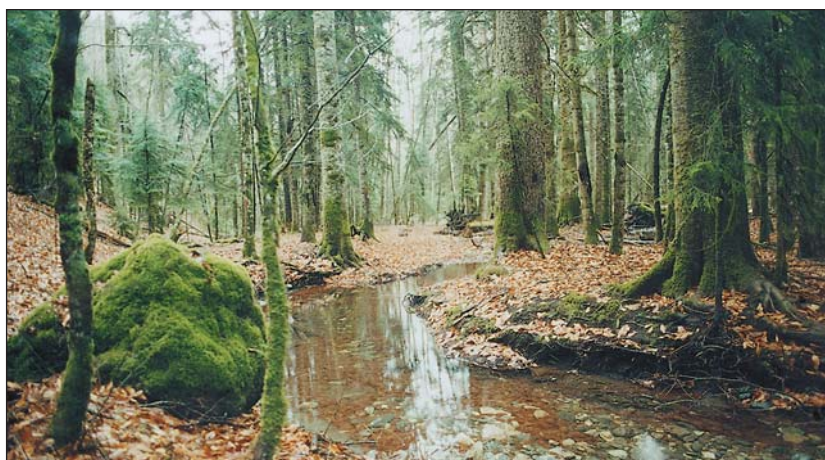


Озеро Алоус. В его окрестностях формируется крупнейшая брачная группировка зубров.

Здесь и далее фото автора



Поляны Орлиного хребта — основные станции межсезонного обитания зубров. Здесь они кормятся осенью по пути к местам зимовки в бассейне Бамбачки, сюда же возвращаются весной на отёл.



Долина Малой Лабы. Зимой здесь редко подолгу держится снег, поэтому горные зубры, как и их вымершие сородичи, приходят сюда кормиться зимой.

и лишь за счет части, расположенной за пределами заповедника. Летом здесь собирается до 70% популяции, зимой — до 90%. В настоящее время эта группировка стала основой всей зубровой популяции, поскольку обеспечивает восстановление Умпырской и восполнение потерь Кишинской частей популяции. Основное перераспределение животных происходит в ранневесенний и зимний периоды, когда объединяются зубры Уруштенской и Умпырской группировок, образуя большие скопления в 100 и более голов.

Труднодоступные и практически не посещаемые людьми склоны гор по обе стороны р. Уруштена стали своеобразным рефугиумом для зубров. На многочисленных лесных полянах зубры проводят первые весенние недели — время отела. Здесь обнаружены не менее десятка крупных активно используемых зубрами естественных солонцов, а густая сеть свежих зубровых троп, покрывающая указанный район, свидетельствует о постоянном, круглогодичном присутствии здесь многочисленной группировки животных.

Места зимовок зубров в последние годы сместились с нижней и средней части лесного пояса гор на субальпийские и альпийские луга. Зимовки зубров на прогреваемых безлесных склонах гор — явление не новое, но наблюдалось оно преимущественно в районе обитания Умпырской локальной популяции. В отдельные солнечные дни второй половины зимы численность животных на субальпийских юго-западных склонах хребта Магишо достигала 100 особей. Замечены зубры были и на обширных лугах массива Скирда. Однако кормились они там недолго и появлялись нерегулярно. Постоянными зимовками зубров на бесснежных пространствах горных лугов стали с конца 1990-х годов. Как правило, животные разбиваются на разные по численности



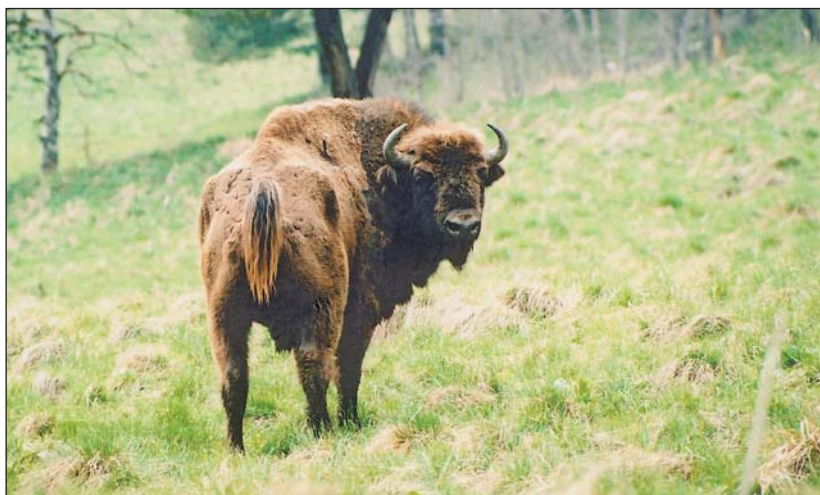
и составу группы, постоянно пересекающиеся друг с другом. Каждая группа занимает определенный участок свободного от снега склона хребта, суточные передвижения по которому ограничиваются несколькими сотнями метров. Животных можно наблюдать даже на пологих вершинах, превышающих 2700 м над ур. м. Зубры объединяются в большие скопления лишь в моменты неожиданного беспокойства и все вместе покидают опасное место. Собираются зубры в группы до 30–50 особей и после снегопадов — сообща им проще добывать корм. Даже во время многодневных снегопадов животные не спускаются в лес; впрочем, у них и нет такой возможности, поскольку глубина снегового покрова по верхней границе леса почти непреодолима для них, по крайней мере во второй половине зимы. Питаются они в это время исключительно ветошью злаков.

Таким образом, наблюдения последних лет показали, что зубры в условиях Северо-Западного Кавказа, столкнувшись с беспрецедентным уровнем беспокойства в наиболее предпочитаемых ими горно-лесных местобитаниях в критический зимний период, освоили новые, ранее не использовавшиеся (или почти не использовавшиеся) зимние стации горных лугов и соответствующие направления миграций и кочевков.

В целом, несмотря на значительное снижение численности в конце 20-го столетия, горные зубры по-прежнему остаются единственной популяцией на Кавказе, способной к саморегуляции и саморазвитию не только в естественных условиях, но и, как выяснилось, при мощном антропогенном воздействии. В последние пять лет их численность постепенно увеличивается, а половая и возрастная структура становится оптимальной. Несомненно, восстановленная популяция горного зубра в настоящее время зани-



Ранней весной зубры почти непрерывно кормятся молодой зеленью.



Взрослый бык в период линьки.



Молодые самцы в период гона. В таком возрасте их еще не допускают к размножению.



По природе зубры любопытны — в заповеднике они подпускают человека на расстояние в несколько шагов и только потом устремляются прочь.



В этом высокогорном районе зубры в безопасности: глубокие ущелья и непреодолимый снег делают его недоступным для человека.



Даже в снегопад и сильный ветер зубры не спускаются в лес, предпочитая пережить непогоду на высокогорных открытых лугах.

мает и эффективно использует освободившуюся экологическую нишу аборигенного зубра, не нарушая целостности природных комплексов.

\* \* \*

Разведением зубров на Кавказе помимо нашего заповедника занимались в Тебердинском заповеднике, Цейском и Ассинском заказниках, Сунженском охотхозяйстве, но ни в одном из них не было достигнуто такого успеха. Опыт создания вольных зубровых стад в этих районах показал, что для их поддержания необходимы не только охранные мероприятия, но и искусственная подкормка и ограничение распространения животных лишь на охраняемых природных территориях, выход за пределы которых приводит к их гибели. По сути, проблемы сохранения зубров всех линий разведения везде, в том числе и на Северном Кавказе, примерно одни и те же и обусловлены постоянным вмешательством человека в процессы приспособления животных к естественным условиям. Сформировавшаяся же в Кавказском заповеднике популяция горных зубров — пример наиболее успешной адаптации восстановленных зубров к среде исторического обитания их вымерших сородичей. Самая крупная и старейшая вольно живущая популяция зубра обладает наибольшим генетическим и генеалогическим разнообразием по сравнению с другими вольными популяциями.

В связи с этим абсолютно беспочвенна полемика относительно прав на существование горного зубра, и в частности утверждение, неоднократно высказываемое М.М.Заблоцкой, о «необходимости освобождения территории Кавказского заповедника от стад зубробизонов» [12]. По мнению специалистов, выделивших горных зубров в новый подвид, а также других исследователей, изучающих их в Кавказском заповеднике, по-



добные суждения не основаны на каких-либо исследованиях горных зубров, их адаптационных, морфологических, генетических и экологических особенностях. Трудно согласиться и с тем, что «воздействие их как чужеродного элемента на экосистемы Кавказского заповедника начало приводить к деградации и трансформации последних» [12]. Напротив, горный зубр стал единственным крупным фитофагом лесных экосистем Северо-Западного Кавказа, от которого зависит в настоящее время восстановление естественного равновесия между лу-

говой и лесной растительностью ландшафтных комплексов Кавказского заповедника и сопредельных территорий. Между тем подвид до сих пор не имеет полноценного природоохранного статуса и включен лишь в «Красную книгу республики Адыгея». Более того, с 1998 г. современные горные зубры, приравненные к гибридам, отнесены к объектам охоты\*. Удивительно, но судьба горного подвида не отражена и в мероприятиях «Стратегии сохранения зубра в России», разработанной в 2002 г. РАН при финансовой поддержке Всемирного фонда

дикой природы (WWF). Хотя там и отмечено, что горные зубры продолжают оставаться уникальной популяцией, «вписанной в естественные сообщества Кавказа, способной устойчиво существовать в течение длительного времени, осуществлять саморегуляцию и саморазвитие под воздействием естественных эволюционных факторов», права на это «устойчивое существование» у них немного. ■

\* Постановление Правительства Российской Федерации от 30 июля 1998 г. №859 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 26 декабря 1995 г. №1289».

## Литература

1. Флеров К.К. Систематика и эволюция // Зубр. Морфология, систематика, эволюция, экология. М., 1979. С.9—127.
2. Юргенсон П.Б., Заблоцкий М.А. Государственная племенная книга зубров и бизонов. М., 1956. Т.1. С.1—114.
3. Rysiek Z. History of the European bison and problems of its protection and management // Global trends in wildlife management. Krakow; Warszawa, 1991. P.19—39.
4. Раутиан Г.С., Калабушкин Б.А., Немцев А.С. // ДАН. Общая биология. 2000. Т.375. №4. С.563—567.
5. Динник Н.Я. // Природа и охота. Октябрь и ноябрь. 1909. С.69—78.
6. Шильдер В.А. // Природа и охота. Май. 1895. С.1—18.
7. Демидов Э. Охотничьи путешествия на Кавказ. СПб., 1898.
8. Сипко Т.П. Об определении статуса горных зубров Северо-Западного Кавказа // Материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию регулярных исследований в Беловежской пуще (19—21 декабря 1989г.). Минск; Каменюки, 1990. С.154—156.
9. Немцев А.С. и др. Зубр на Кавказе. Москва; Майкоп, 2003.
10. Калугин С.Г. Восстановление зубра на Северо-Западном Кавказе // Труды КГЗ. М., 1968. Вып.10. С.3—94.
11. Немцев А.С. Становление биохорологической структуры популяции горных зубров и ее мониторинг // Итоги и перспективы экологического мониторинга в заповедниках: Мат. науч. конф., посвященной 70-летию образования КГБЗ. Сочи, 1994. С.111—113.
12. Заблоцкая М.М. Современные проблемы восстановления зубра в России // Проблемы сохранения и восстановления зубра. Сб. науч. трудов. Данки, 2003. С.43—47.

Исландский подвид большого веретенника (*Limosa limosa islandica*) гнездится в Исландии, а зимует в более теплых краях. Самец и самка, составляющие в период размножения дружную пару, с началом сезона миграции расстаются и улетают в разные места, находящиеся иногда очень далеко друг от друга (среднее расстояние почти 1000 км). На родину «супруги» возвращаются почти одновременно. Распадается семья редко — лишь в тех случаях, когда

один из партнеров опаздывает более чем на восемь суток. Terre Sauvage. 2004/2005. №201. P.48 (Франция).

Зоологи Д.Уилсон и Ж.Эйр (D.Wilson, J.Hare; Университет провинции Манитоба, Канада) убедительно показали, что земная белка североамериканских прерий издает сигналы тревоги на ультразвуковых частотах порядка 50 кГц. Если летучие мыши и дельфины ис-

пользуют ультразвук только для ориентации в пространстве и поиска жертв, то земляные белки с помощью ультразвука, не воспринимаемого их потенциальными врагами, сообщают сородичам о вероятной угрозе. Столь эффективный способ коммуникации позволяет этим зверькам не дать застать себя врасплох и вовремя узнать, откуда приближается опасность. Science et Vie. 2005. №1049. P.71 (Франция).

Зерстико

## Химия атмосферы

### Не было бы счастья, да несчастье помогло

В августе 2003 г. весь северо-восток США и юго-восток Канады внезапно погрузились во тьму: вышла из строя система энергоснабжения этого региона. Но для тех, кто изучает химический состав атмосферы, выдалась неожиданная возможность объективно оценить размеры выбросов продуктов сжигания на ТЭС и их роль в загрязнении воздушного пространства. В первую очередь удалось определить эффект от поступления в атмосферу диоксида серы (SO<sub>2</sub>) и окислов азота (NO<sub>x</sub>). Эти вещества в данном регионе выбрасываются более чем сотней ТЭС. Кроме того, был оценен вклад энергетики в процессы образования смога и дымки, давно являющихся бичом здешних городов.

Американский специалист по химии атмосферы Маруфу (Marufu) организовал серию измерений с самолетов-лабораторий над центральной частью штата Пенсильвания, оказавшейся «ядром» охваченной затемнением территории, а также над западными районами штата Мэриленд, где подача электроэнергии не прерывалась. Эксперимент начался примерно через сутки после случившегося перебора. Оказалось, что концентрация SO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> над Пенсильванией в тот момент уже стала намного ниже, чем над западным Мэрилендом утром того же дня, и в сравнении с наблюдавшейся в небе Пенсильвании годом раньше. Рассеяние света, вызываемое мелкими взвешенными в атмосфере частицами промышленного происхождения, существенно сократилось, так что видимость улучшилась до 40 и более километров.

Эти наблюдения показали, насколько точна оценка, даваемая цифровыми моделями, роли специфических источников

загрязнения атмосферы в районах расположения промышленных объектов.

Geophysical Research Letters. 2004. V.31. №10. P.1029 (США); Science. 2004. V.305. №5685. P.755 (США).

## Гидрология

### Гидрология Ладожского озера

Ладожское озеро — самое крупное в Европе (17 700 км<sup>2</sup>). Разнообразие видов биологических сообществ в таких больших озерах, их пространственная неоднородность и временная изменчивость контролируются главным образом температурой и прозрачностью воды. В пресноводных бассейнах именно пространственное распределение температуры приводит к формированию неоднородных полей плотности в вертикальной и горизонтальной областях, а вкупе с ветровым воздействием — к трехмерным движениям водных масс, что влияет на перераспределение биогенных элементов и биоты.

В Институте озероведения РАН (Санкт-Петербург) на основе базы данных и созданной информационно-диагностической системы впервые для крупных озер мира получены и проанализированы среднесуточные (типичные) пространственные распределения температуры воды в поверхностном слое и на горизонтах 20 и 50 м. Для Ладожского озера создана многоцелевая база данных, позволяющая получать статистически значимые гидрологические характеристики всего озера и отдельных его районов. В настоящее время она содержит 180 тыс. различных показателей (температура и влажность воздуха, облачность и прозрачность верхнего слоя озера в период открытой воды и т.д.) за 1898—2003 гг. Ее информативность превысила 200 знаков на 1 км<sup>3</sup>.

На основе информационно-диагностической системы впервые для Ладожского озера (при уточненном его объеме) рассчитано теплосодержание водоема в целом и отдельных его районов, разработаны многолетние схемы положения весенней фронтальной зоны, построены карты изолиний, определяющих начало и продолжительность «биологического лета», распределение максимальных температур воды и воздуха. Результаты проведенных исследований позволяют не только дать характеристику пространственно-временной термической дифференциации вод озера, но и корректно планировать полевые наблюдения в зависимости от сезона.

Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 1. СПб., 2004. С.88—89 (Россия).

## Археология

### Захоронение с повозкой

Кельтская традиция хоронить знатного человека вместе с повозкой, судя по погребениям VI—II вв. до н.э., существовала на территории современных Бельгии, Германии, Франции и Англии. Недавно такое захоронение (оно датируется периодом между 520 и 370 г. до н.э.) обнаружили значительно севернее — в Шотландии.

По типу повозки определили, что изготовили ее британские мастера, однако одна особенность роднит ее с французскими и бельгийскими изделиями: экипаж сработан так, чтобы его можно было разобрать перед закапыванием в землю. Это обстоятельство позволяет предположить, что контакты между жителями Британских о-вов и их континентальными соседями были гораздо более тесными, чем считалось ранее. La Recherche. 2005. №382. P.18 (Франция).

# ИЗ ПЛЕЯДЫ ПРОСВЕТИТЕЛЕЙ И УЧЕНЫХ

## К столетию со дня рождения К.К.Маркова и А.П.Жузе



Муж и жена, одногодки (на этой фотографии им чуть больше тридцати), они прожили вместе 48 лет. Очень разные, оба принадлежали к той человеческой общности, которую называют интеллигенцией. Оба были беззаветно преданы науке и просвещению, оба создали собственную научную школу и оставили учеников. Он – Константин Константинович Марков (7(20) мая 1905 г. – 18 сентября 1980 г.), академик, выдающийся советский географ. Она – Анастасия Пантелеймоновна Жузе (18(31) июля 1905 г. – 12 сентября 1981 г.), доктор географических наук, гидробиолог, принадлежала к числу основателей советской школы морской микропалеонтологии. В их творческой деятельности удачно переплетались обширный кругозор, искрометный талант, смелое дерзание и скрупулезность исследователя-аналитика. В частной жизни им были присущи необычайна скромность, искренняя благожелательность и душевная щедрость. Именно эти качества снискали К.К.Маркову и А.П.Жузе симпатию, доверие и уважение. Таким они остались в памяти коллег и учеников. Отмечая этот двойной юбилей, мы предоставляем слово тем, кто хорошо знал Маркова и Жузе, а также им самим.



# К.К.Марков глазами современников

А.А.Свиточ,

доктор географических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Прошло 25 лет со дня смерти Константина Константиновича Маркова, но до сих пор его с теплой вспоминают на географическом факультете МГУ, где он работал до конца жизни. Мне посчастливилось когда-то быть его молодым коллегой по кафедре. Однако настоящие заметки основаны как на опубликованных, так и на пока не увидевших свет воспоминаниях людей, хорошо его знавших и в большинстве уже ушедших из жизни (эти материалы сегодня готовятся к печати в виде юбилейного сборника). Здесь также использованы материалы самого Константина Константиновича и страницы из дневника его жены — А.П.Жузе.

## Молодые годы

Родился К.К.Марков в имении Тийурула близ Выборга (ныне Финляндия) в семье инженера-строителя Константина Васильевича Маркова. Двенадцатый ребенок в скромной офицерской семье, К.В.Марков окончил военно-инженерную академию, но за политические выступления вынужден был уйти из армии и всю оставшуюся жизнь занимался гражданским строительством.

Когда Косте было девять лет, семья распалась. После революции К.В.Марков эмигрировал в Югославию, где преподавал в Белградском университете.

Мать — Мария Ивановна, урожденная Досс, была моложе мужа и происходила из семьи известных русских просветителей Второвых. Ее прадед — Иван Алексеевич Второв, последователь Карамзина, был знаком с Пушкиным, увековечен кистью И.Крамского. К.К. вспоминал, что его мать была идеальной хозяйкой и воспитательницей своих троих детей (Надежды, Геор-

гия и Константина). Она была миловидной, доброй, тихой и мягкой женщиной и рано, в сорок два года, ушла из жизни. После ее смерти воспитанием детей занимались ее двоюродная сестра — О.В.Синакевич и бывшая бонна детей — Е.Я.Грейкис.

Учился Костя Марков в реальном училище для совместного обучения В.П.Кузьминой в Санкт-Петербурге. По воспоминаниям его одноклассницы А.С.Корженевской, это была необычная школа, где учились и мальчики, и девочки, и где талантливые педагоги пытались воспитать развитого человека. В школе учебный цикл реального училища сочетался с программой классической гимназии, включая изучение четырех иностранных языков.

Корженевская отмечала, что «Котя (таким было его детское имя) в первых классах представлял собой очень аккуратного и очень воспитанного мальчика в синем костюмчике с матросским воротником, в коротких штанишках до колен, очень комнатного облика и крайне старательного ученика и вместе с тем охотно с азартом участвовал в играх на большой перемене, а также был инициативен в жизни класса и затеях... В детстве и ранней юности для него была характерна некоторая за-



Мария Ивановна Маркова с Костей, 1905 г.

© Свиточ А.А., 2005

мкнутость, большая обидчивость, самолюбие и стремление вступить в бой при какой-нибудь обиде, за что в классе его звали «петух»; услышав это, он немедленно готов был подраться, тем более, что и смелость и решительность были в его характере. В дальнейшем, к последнему классу, эти черты смягчились и к студенческому периоду заменились выдержкой, большой настойчивостью в достижении какой-нибудь цели, умением деловых общений и с преподавательским составом, и с товарищами, и умением сдерживать свою импульсивность. После смерти матери в связи с трудной полуголодной обстановкой тех лет сформировалась любопытная черта его характера — стоицизм в отношении лишений (холода, голода, неудобств), прижившаяся ему впоследствии неоднократно в экспедициях. Он с раздражением и презрением относился к мещанству и обывательщине, если кто-нибудь на его глазах расцветал от случившейся сытной и вкусной пищи.

В школе и институте Маркову учение давалось легко, без слишком большого напряжения, и поэтому он успевал много читать, обладал колоссальной работоспособностью, просиживал в библиотеках, поглощая десятки книг и статей. К.К. принадлежит шуточный афоризм: «За ночь можно прочитать столько книг, сколько можно их поднять».

После окончания школы в 1921 г. шестнадцатилетний Константин поступил в Географический институт в Петрограде, где преподавали А.Е.Ферсман, В.Н.Сукачев, Я.С.Эдельштейн, Л.С.Берг и М.М.Тетяев, оказавшие на него большое влияние [1]. По воспоминаниям самого К.К., поводом для выбора профессии географа было «единственное чувство, руководившее мной, — любовь к природе, возникшее благодаря длительному пребыванию на ее лоне, — в детстве — в Финляндии,

в отрочестве — в Анапе, <...> где семья переживала голод и военное лихолетье того времени». (В 1917—1918 г. туда выехала школа Кузьминой вместе с учениками и их родителями, там же К.К. ее окончил.)

Еще будучи студентом, К.К. приступил к географическим исследованиям. Его ранние публикации были посвящены истории происхождения рельефа окрестностей Ленинграда. Позднее, уже во время работы в Ленинградском университете, главные итоги этих исследований были изложены в монографии «Развитие рельефа северо-западной части Ленинградской области», защищенной в 1934 г. в качестве докторской диссертации, когда ее автору не исполнилось и тридцати.

Вот что пишет Жуже об этом событии в своем дневнике: «Проходила она [защита. — А.С.] в университете, в очень дружеской обстановке. Было очень много народа, особенно студентов. Пришли все Костины добрые друзья и не очень добрые. К удивительно хорошо держался, скромно и с достоинством. Больше всего трогало это очевидное к нему расположение. После защиты хлопали дружно и поздравляли, на многих лицах были широкие улыбки. Там, в университете, и затем дома его ждали цветы — чудесные цикламены в корзинках. Обычные цветы зимнего Ленинграда. Таким образом, К. минул защиту кандидатской диссертации и сразу получил докторскую за свою великолепную книгу по северо-западу Ленинградской области». В 1932—1933 г. Марков участвует в изысканиях Памирской экспедиции, написав позднее «Географический очерк Памира (1935).

Однако еще до этих событий в его жизни произошла знаменательная встреча с Анастасией Пантелеймоновой Жуже, на которой он женился в 1932 г. Кто-то из знакомых написал в это время такие шуточные стихи о К.К.:

«Застенчив, робок, глух и нем  
Жил-был геолог К.К.М.  
Имел овальное (с яйцо)  
С румянцем нежное лицо.  
Боялся спирта, женщин, страсти,  
Лишь исключение сделал Насте.  
Ее застенчиво любил  
И в Летний сад гулять водил».

В своем дневнике в записи от 12.09.1930 А.П. рассказывает: «Неожиданно со службы отправилась <...> в местечко недалеко от Дудергофа. <...> Ездили смотреть найденный Марковым торфяник в обнажениях на р.Дудергоф. Погода была на славу, хотя и холодная. <...> Кругом молодой лесок сосновый. <...> Шла с удовольствием, дышала с улыбкою свежий воздух и невольно всякие глупости лезли в голову. Ведь вот Марков, наверно, немногим старше меня, но уже почти законченный ученый...». И еще, от 28.09.1930: «Вчера на службу пришел Марков. Много разговаривали и смеялись. Приглашают <...> нас на загородную поездку, имеющую целью геологическое обследование обнажения реки Охты и просто прогулку. <...> У Маркова много работ уже, а сейчас он заканчивает очень большую работу по Ленинградской области. Не могу решить, сколько ему лет, но выглядит он ужасно молодым». Корженевская вспоминает молодую семью: «В одно светлое солнечное утро, забежав к ним на квартиру, увидела всю семью за утренним завтраком. Мне представили Анастасию Пантелеймонову Жуже — жену Коти, молоденькую, живую, умную. Впечатление создалось очень гармоничное. Сразу было видно, что их взаимность имеет не только жизненное основание, но и общность интересов, и высокую культуру. И это впечатление вполне подтвердилось всей дальнейшей жизнью их семьи. Жуже, впоследствии крупный микроралеонтолог, всю жизнь прошла с мужем, разделила ее радости и горечи и пережила его только на один год».

## В Москве и в экспедициях

С 1935 г. Марков состоял сотрудником Института геоморфологии АН СССР, который, в связи с переездом Академии из Ленинграда в Москву, тоже перебирался в столицу вместе с сотрудниками. Там институт был преобразован в Институт географии, где Марков стал заведовать отделом геоморфологии, активно занимаясь составлением первой геоморфологической карты СССР.

В 1938 г. К.К. участвовал в экспедиции на о.Врангель. Ее организация была связана с курьезом — полярники с острова сообщили в Академию о находке на острове остатков хорошо сохранившегося мамонта, на деле оказавшегося тушей кита. По этому поводу Константин Константинович, как вспоминала его знакомая Г.Е.Ганейзер, заметил, если бы не «утка», взрастившая кита, долго бы пришлось острову ждать географо-геологического изучения.

Во время Великой Отечественной войны Марков создавал

географические характеристики фронтов с оценкой наземной проходимости, а в 1942 г. разработал лекционный курс «Военная география». Институт географии был эвакуирован в Алма-Ату. К.К. оказывал бескорыстную помощь коллегам. Известный географ Э.М.Мурзаев вспоминал: «Время было трудное, продовольственные лимиты распределялись по карточкам, причем <...> доктора наук обеспечивались гораздо лучше, чем младшие сотрудники или обслуживающий персонал. Константин Константинович делился пайком со многими своими помощниками, отдавая им часть полагающихся ему продуктов». Война страшным катком прошла по семье Маркова. Сестра Надежда и брат Георгий умерли во время блокады Ленинграда, а двое его и Анастасии Пантелеймоновны маленьких детей — от эпидемии в эвакуации.

В феврале 1945 г. К.К. перешел на работу в Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова. Долгие годы он был профессором, заве-



Л.С.Берг и К.К.Марков на полевых исследованиях, 1923 г.



На Памире, 1946 г.



А.П.Жузе и К.К.Марков, 1949 г.



дующим кафедрой общей физической географии и палеогеографии и деканом факультета (в 1945—1955 гг.). Ученица Маркова Е.М.Щербакова вспоминала: «После долгих настоячивых уговоров Константин Константинович дал, наконец, согласие и принял на себя всю ответственность нового большого дела. <...> Новый декан во всем соответствовал возросшим требованиям. В нем сочетались неопределимые качества молодости — огромного запаса энергии и неограниченного желания дерзать — с большим преимуществом зрелой мудрости — пониманием прогрессивных путей развития избранного дела».

Почти 40 лет К.К. отдал МГУ. Здесь им выполнены наиболее крупные научные исследования. За это время учебная и научная деятельность факультета, его структура, оснащенность оборудованием претерпела большие изменения. По его инициативе были созданы новые кафедры: биогеографии, географии почв, гидрологии, метеорологии и климатологии, океаноло-

гии, общей физической географии и палеогеографии, а также ряд лабораторий. Была произведена перестройка научных планов, организованы крупные экспедиции, географические станции и базы, на факультет был приглашен ряд крупных ученых (А.Н.Сукачев, С.П.Хромов, М.А.Глазовская и др.).

В 1955 г. после переезда факультета в новое здание на Ленинских горах К.К. оставил должность декана и участвовал в трех антарктических экспедициях. О первой из них, ныне тоже юбилейной, начавшейся 50 лет назад, он так писал в журнале «Природа»: «Путешествие в Антарктиду для географа захватывающе увлекательно... Гораздо ярче воспринимались те явления, о которых до сих пор приходилось ограничиваться чисто книжными представлениями. Возникли новые мысли об Антарктиде, где удалось провести... полевые исследования, появилась возможность сделать некоторые научные выводы...» [2]. Эти работы, а также плавание по Индийскому океану сыграли огромную роль в его науч-

ной деятельности и способствовали уточнению концепции материкового оледенения земного шара.

## Теория и практика

Диапазон научных интересов Маркова был чрезвычайно широким [3]. Одно из главных направлений его научной деятельности — палеогеография. Исторической географии (палеогеографии новейшего периода) посвящены многие фундаментальные труды К.К., в том числе трехтомный «Четвертичный период» и книга «Палеогеография», за которые он был награжден Золотой медалью П.П.Семенова-Тян-Шанского и Ломоносовской премией.

К.К.Марков считал, что географический анализ требует от географов не только пространственной широты, но и исторической глубины: это не только наука о пространственном размещении природных явлений и объектов, но и наука об истории современной географической оболочки.



К.К.Марков (в центре) среди профессоров географического факультета. Начало 50-х годов.

На материалах регионально-го и компонентного палеогеографического анализа он показал, что для природного процесса характерны всеобщность, направленность, ритмичность, индивидуальность. Основным же событием четвертичного времени было образование новых географических форм и появление человека.

Исключительно важное значение имеет разработанная Марковым концепция метакронности — временного несоответствия природных событий в зависимости от местоположения изучаемой территории. Концепция была убедительно раскрыта на примере сравнения ледниковых процессов на Русской равнине и в Восточной Сибири и хода морских трансгрессий древнебалтийских водоемов.

Именно К.К. предложил использовать палеогеографическую информацию в качестве естественно-исторической основы

долгосрочного прогноза, обратив внимание на поиски палеогеографических аналогий. В частности, современное потепление, по его мнению, можно сопоставить с потеплением климата в середине голоцена.

Он инициировал создание Лаборатории новейших отложений при кафедре общей физической географии и палеогеографии, в которой с помощью синтеза многочисленных аналитических методов проводится изучение генезиса четвертичных отложений разных регионов России, выявляется их возраст.

Исследуя закономерности развития географии как науки, Марков подметил ее парадоксальное положение, состоящее в интегральности (синтетичности), противоречащей появившейся в 60-е годы дифференциально-аналитической тенденции. По его мнению, наряду с углубленным изучением отдельных компонент географической

среды, необходимо обобщающее их исследование, специальное осмысливание географической оболочки в целом. Из этого следует концепция единства и двух основных ветвей географии — физической и экономической. В этом единстве, считал К.К., и заключается «душа» географии.

Марков стал основоположником новой отрасли — географии Мирового океана и последние годы жизни почти полностью отдал разработке основных положений этого направления. Обращение к этой теме было вызвано его пониманием планетарного единства географической оболочки, которое оказалось в конце 60-х годов почти утраченным. Ему удалось соединить концепцию единства природы суши с понятием о единстве океана.

Марков выделил перспективные точки «состыковки» географии суши и географии океана: физико-географическое районирование, анализ вертикальной дифференциации суши и океана, изучение симметрии и асимметрии географической оболочки. Разработка последней проблемы привела к необходимости изучения Антарктиды и ее окружения (Южного океана).

Феномен шестого континента имеет общеземное значение как яркий показатель полярной асимметрии Земли, а географические особенности Антарктиды оказывают большое влияние на природную среду всей нашей планеты. Эта мысль К.К. проходит через все его многочисленные работы по Антарктике. По инициативе и при личном участии Маркова созданы монументальные обобщающие произведения: «География Антарктиды» (1968) и «Атлас Антарктиды» (1970), за который он был удостоен Государственной премии СССР; им написано также «Путешествие в Антарктиду» (1971).

В последние годы жизни в научное творчество Маркова



П.А.Шумский, Г.А.Авсюк и К.К.Марков на пути в Антарктиду на научно-исследовательском судне «Обь», 1955 г.



вошли долгосрочный географический прогноз, распределение биомассы суши и моря, асимметрия географической оболочки и другие кардинальные проблемы географии. Он был одним из инициаторов, главным редактором и автором многотомной «Географии Мирового океана» — первого комплексного географического исследования Мирового океана. В этом грандиозном труде Марков не только воплотил свои идеи о планетарном единстве географической оболочки, но и дал представление о Мировом океане как целостной системе.

Трудно переоценить вклад Маркова в геоморфологию. Среди его публикаций — блестящий анализ горного и ледникового рельефа Памира, рассмотрение проблем соотношения колебаний уровня моря и новейших тектонических движений суши, генезиса береговых террас. В работе «Основные проблемы геоморфологии» (1948) им развита новая геоморфологическая теория — концепция геоморфологических уровней — и впервые обобщены методы изучения взаимодействия эндогенных и экзогенных рельефообразующих сил.

Следует отметить и колоссальную роль К.К. как наставника и воспитателя целой плеяды географов. Помимо большого числа студентов, им подготовлено 120 кандидатов и докторов наук. Те, кто прошел «марковскую школу», в своих научных разработках применяют особый подход к анализу природных объектов и процессов, развивая представления, выдвинутые своим учителем.

Коллеги считали, что в творческой деятельности Маркова удачно сочетался талант, дерзание и широкий кругозор исследователя-аналитика, инициативность организатора науки, мастерство педагога и воспитателя научных кадров, искусство пропагандиста и популяризатора географических знаний.



А.В.Живаго и К.К.Марков, о.Пасхи, на пути из Антарктиды, 1958 г.



К.К.Марков, Н.Г.Заикина, Р.Н.Горлова, Н.Г.Судакова на опорном разрезе Левина Гора (Ростовский район), 1969 г.





К.К.Марков, 1957 г.

## Разносторонняя натура

Современники отмечают и другие любопытные детали характера Маркова.

В воспоминаниях Е.М.Щербаковой есть такие слова: «Во время полевых работ он был смел и решителен. Уже в первой поездке на Памир, еще не имея опыта, решался в одиночку пускаться в маршруты, что не всегда одобрялось начальством. На трудных переправах через горные реки или на переходах через обычные висячие мосты К.К. обычно первый их преодолевал».

И далее: «У обнажений и на ключевых участках он был сгустком сосредоточенности и внимания, а на отдыхе и на переездах — душой общества. <...> Марков действительно был разносторонне одаренной натурой, хотя главным в нем всегда оставалось стремление к углубленному мышлению, творческий порыв и сосредоточенность силы и воли на главном, он также обладал необъяснимой способностью распространять знания вокруг себя, делая их общим достоянием. Он заставлял окружающих верить в правоту своих начинаний...»

А вот мнение ученицы о его ораторских способностях: «Могу утверждать, что его лекции были лучшими из всех, которые довелось слушать за время учебы и работы в университете. Они могут служить образцом университетского типа лекций. Их отмечала четкость, ясность, простота изложения (без всяких признаков упрощенчества) и одновременно глубина знаний и высокая культура речи...»

О Маркове-рассказчике вспоминала и Ганейзер: «Как увлекательно умел рассказывать Константин Константинович. Как интересны, обзорны его рассказы о бесчисленных экспедициях и путешествиях. Научные наблюдения, гипотезы и выводы изящно сочетались в его рассказах с поэтичными описаниями природы. Строго проверенные выводы — с легким и добрым юмором...»

А вот мнение Щербаковой о характере К.К.: «В жизни нередко приходится наблюдать, что талантливые люди весьма требовательны к себе и к другим, имеют сложный и нелегкий характер. Не миновал этой черты и Константин Константинович, хотя она была у него смягчена и завуалирована отличным воспитанием. Предъявляя всегда к себе и к другим большие требования, он становился суров по отношению к тем, кто не выполнял положенного. Но особенную неприимчивость, даже врага, встречали в нем те, кто по существу расходился с ним в научных взглядах и устремлениях. Тогда подчас он был просто неумолим». И другой оттенок: «Мы знали его чаще сосредоточенным и напряженным, однако в часы отдыха — также приветливым хозяином, остроумным собеседником, готовым на шутку и негромкий смех...»

Вот как в целом оценили личность Маркова его коллеги Л.Р.Серебряный и С.С.Сальников: «Константин Константинович был человеком глубокой внутренней культуры, кипучей

энергии, острого пронизательного ума. Он всегда шел в авангарде научного поиска. В частной жизни ему была присуща необычайная скромность. Он неизменно с искренней благожелательностью и душевной щедростью относился к своим многочисленным коллегам по профессии. Из главных черт этого замечательного человека следует назвать высочайшую образованность и эрудицию, особую личную скромность, простоту и благородство, в сочетании с бескомпромиссной принципиальностью и удивительным отношением к людям. В комплексе эти качества сделали то, что мы называем интеллектуальной культурой, которая проявляется в стиле работы ученого, в его устной речи и в его ма­нерах» [4].

Особое место в его жизни занимала популяризация науки, в частности в журнале «Природа». Его первая статья появилась здесь в 1931 г., а в 1962 г. он стал членом редколлегии журнала, неформально руководя географией на его страницах. Большие материалы, мелкие заметки, рецензии на книги — таков спектр его публикаций. Кроме того, К.К. стремился привлечь к работе в журнале талантливых ученых и сделал многое, чтобы до читателя доходили новости, происходившие в нашей науке.

Что же касается большой литературы, то о страстном увлечении Маркова поэзией вспоминает Ганейзер: «Сколько стихотворений помнит Константин Константинович и читает их наизусть... Ахматова, Ходасевич, Пастернак, Блок, а также и свои. Ведь он много писал стихов. <...> Начиная со школьных лет, он всю жизнь интересовался поэзией; в частности, к его любимым авторам принадлежала Ахматова». Одним из его любимых стихотворений были знаменитые строки «Мне голос был. Он звал утешно...». Он называл ее «Пушкиным наших дней».

К.К. пишет об Ахматовой в неопубликованных воспоминаниях: «С Анной Андреевной я познакомился неожиданно, зная, конечно, ее стихи и преклоняясь перед ней, как перед великой русской поэтессой... К моему изумлению, Анна Андреевна отнеслась ко мне хорошо. Хотя чем же мог быть интересен для нее человек, хотя

и влюбленный в поэзию, но профессионально далекий от искусства. Знакомство состоялось в первые послевоенные годы, и Ахматова не раз принимала меня в квартире писателя В.Ардова, в предоставленной ей маленькой, но уютной комнате. Она однажды даже почтила посещение мою квартиру».

В своих воспоминаниях Константин Константинович отмечал, что принадлежит «к поколению, которое плохо знает своих предков, привыкло искать в них недостатки больше, чем достоинства». Однако приводимый в этом номере его собственный очерк о прапрадеде бесспорно свидетельствует о «любви к отеческим гробам». ■

## Литература

1. Марков К.К. В Антарктиду // Природа. 1956. №8. С.59—69.
2. Марков К.К. Воспоминания и размышления географа. М., 1973.
3. Гвоздецкий Н.А. Константин Константинович Марков (1905—1980) // Творцы отечественной науки. Географы. М., 1996.
4. Серебряный Л.Р. Константин Константинович Марков, жизненный путь и научное творчество // К.К.Марков. Избранные труды, Проблемы общей физической географии и геоморфологии. М., 1986. С.6—11.

# Иван Алексеевич Второв

К.К.Марков

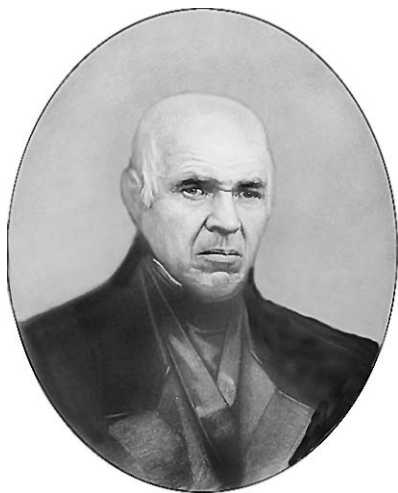
**М**ного ли нам известно о мыслях и чувствах русской провинциальной интеллигенции конца 18-го и начала 19-го столетий? Пожалуй, почти ничего. Но современники Пугачева, Новикова, Радищева, декабристов, Карамзина и Пушкина оставили свой след в биографической литературе. Конечно, героя моего повествования невозможно сравнивать ни с одним из поименованных деятелей. Он представлял собой не исключительное, но типичное явление для передовой интеллигенции своей эпохи. О нем — провинциальном интеллигенте (и моем прапрадеде по материнской линии) — Иване Алексеевиче Второве я хочу рассказать.

Публикация с сокращениями, А.К.Марковой.

Три поколения моих предков по линии матери (И.А.Второв, Н.И.Второв, О.В.Синакевич) вели записи, охватившие почти без перерыва период в 200 лет. Семейная летопись запечатлела события от 70-х годов 18-го столетия — до 60-х годов нашего столетия.

Первым звеном ее является дневник прапрадеда. Дневник — интимный, не рассчитанный на опубликование, не содержащий элементов парадности, он являет, однако, записи о выдающихся событиях и людях его эпохи. Дневник И.А.Второва публиковался в журнале «Русский вестник» в 1875 г. (Пуле М.Ф.де. Отец и сын. Опыт культурно-биографической хроники. Т.116—119. М., 1875). «Широкая публика» забыла, конеч-

но, упомянутую публикацию. Однако И.А.Второва помнят в Казани, городе, которому перешла по наследству его библиотека. Сына — Николая Ивановича Второва — помнят также в Воронеже, где он нашел архивы царя Алексея Михайловича, дружил с Крамским и Никитиным. Сын был членом Географического общества, которым награжден золотой медалью. Упомянутая летопись является государственной собственностью, образуя «фонд Второвых», «фонд Синакевич» Публичной библиотеки им.Салтыкова-Щедрина в Ленинграде. Я приведу, конечно, только отдельные эпизоды. И буду придерживаться текста **автора** дневника, текста его **биографа** (М.Ф.де Пуле), минимально же — своего текста.



**Иван Алексеевич Второв (1772—1844). Рисунок И.Н.Крамского с дагерротипа. Итальянский карандаш.**

«Предлагаемая хроника составила случайно, — писал биограф. — Большинству читателей герои ее, Второвы, едва ли известны; но многим книжным, литературным людям, мы полагаем, еще памятно имя Второва-сына... Второв-отец был в свое время... тоже известность, замечательность, хотя и провинциальная. Он был знаком почти со всеми писателями своего времени; он собрал замечательную библиотеку, из которой образовалась потом Казанская городская библиотека; он знал почти все Поволжье, где жил и действовал не бесплодно. Если не масон, то ученик масонов, он был для своего времени весьма типичной личностью, по развитию и образованию стоял в числе передовых людей, хотя занимал самое скромное положение, не на вершинах общественности, а на одном из флангов общественного строя. <...>

Второвы ведут свой род из Оренбурга, где дед Второва-отца [и мой прапрапрадед. — *К.М.*] служил в царствовании императриц Анны Иоанновны и Елизаветы Петровны при оренбургском губернаторе Неплюеве правителем его канцелярии и в 1756 г. был произведен в чин коллежского секретаря».

Его внук и герой моей повести — Иван Второв родился в 1772 г. «и по смерти отца остался шести лет отроду, но был обучен грамоте... О бедности матери Второва можно судить по тому, что она вынуждена была определить сына в татарскую школу учителем русской грамоты, с жалованием за этот труд по тридцати рублей в год, как говорит сам сын, но подробностей об этом учительстве мы не знаем». Вскоре он был определен в «новооткрытый тогда в Самаре уездный суд, с десятилетнего возраста... совершенным ничтожеством канцелярского служителя-малолетка».

Вот что вспоминает Второв о своем отрочестве: «Склонность моя к наукам... с десятилетнего возраста была непреодолима. Я читал с жадностью всякие книги, какие ни попадались». А Второв-сын продолжает об отце: «В бедности, в кругу невежд и развратных людей, бывших товарищами его по службе, порок не коснулся его чистого, прекрасного сердца». «Едва достигнув четырнадцати лет, — сообщает биограф, — Второв начал вести уже журнал, записывая ежедневно все, что с ним случилось... Журнал... продолжался до самой смерти автора. Иван Алексеевич познакомился с грамматикой, поэзией, историей, географией, физикой, геометрией и с французским языком... Пора, к которой принадлежит его развитие, было цветущим временем типографской и литературной деятельности Н.И.Новикова. Книги выходили не только по губернским городам, в особых лавках, но и по уездным, на руках купцов, комиссионеров Типографской Компании, бакалейных торговцев и краснорядцев. К той поре относится начало литературной деятельности Карамзина на его родине, где жил и юноша Второв. И так, масонская литература и отчасти родственное ей сентиментальное направление питали Второва и его друзей...»

И почти на первой странице своего журнала вот что он пишет: «Я желаю, чтобы добродетель, сия любезная спутница к благополу-

чию, не оставляла меня; пороки бы не овладели мною, и я в уединении забавлялся науками. Вся моя веселость в книгах, и больше ничего мне не надобно». Или в другом месте: «Здесь-то я несколько облегчил мои прискорбия. Андрей Иванович [учитель А.И.Тихонравов. — *К.М.*] показывал мне камни и руды, из коих по кусочку некоторых дал мне: допустил меня к своей библиотеке и дал мне волю рыться в ней. Тут-то я увеселил себя! Забыл свои горечи и пробыл в рассматривании разных книг до самого вечера, взяв две книги, “Премудрость и Добродетель”, да “Галловы Размышления”».

Второв вырос, становился свидетелем многих событий, прожил долгую жизнь. Я познакомлю вас только с четырьмя эпизодами, любопытными или замечательными.

## Путешествие по Волге

В конце восемнадцатого века путешествие по Волге было еще не безопасным. Опасались «разбойников». И.А.Второв отправился в Макарьево, на ярмарку, в 1793 г. «В каждой кибитке было не менее как по ружью, частью на всякий случай, в остратку разбойникам, которые еще водились, — пишет биограф, — только 17 лет назад Пугачев был казнен. Внимание Второва остановилось на деревне помещика Алеева за Ардатовым, где крестьяне почти поголовно стояли на дорогах и улицах и просили милостыни у проезжающих: “Варвар помещик!” — восклицает в негодовании Второв. Добравшись до места своей поездки <...> Второв тотчас же встретился с одним из своих знакомых, Борисовым, который рассказал ему о своей встрече с разбойниками: как он одного поранил саблей и как другие заставили его самого бежать в лес и там от них укрыться. Второв тотчас же побежал на ярмарку и, прежде всего, бросился в книжные лавки, которых тогда на ярмарке было четыре. Он купил “Покоящегося трудолюбца” и какой-



то “Театр”... На другой день... приобретены еще “Собеседник” и “Московский журнал”... К числу ярмарочных удовольствий в ту пору принадлежал театр и шуты, потешавшие раскутившееся купечество. Второв посещал театр, гулял по ярмарке и за городом, в остальное время весь погружен в чтение, забыв обо всем в мире, он в упоении от чтения “Бедной Лизы” Карамзина и первых писем “Русского Путешественника”. Но вот ранним и прекрасным утром поплыл наш симбирский путешественник вниз по Волге в Казань... Мимо Козьмодемьянска, Чебоксар и Свияжска путешественники проехали без всяких приключений; под Чебоксарами осматривали их лодку заставные солдаты и сорвали с хозяев несколько грошей. В Казань приехали пополудни 26-го июля. Город, т.е. строения и все, что было на улицах, привели в восторг Второва... Покупка книг в Казани продолжалась, вероятно, на последние деньги, потому что на обратном пути в Симбирск юный путешественник питался только хлебом, огурцами и толокном... Наш путешественник был, кажется, в самом сильном пароксизме сентиментальности. Читая в “Московском Журнале” “Плач Супруги” [Стихотворение Н.И.Дмитриева. — К.М.], он плакал сам, плакал, по его словам, перебирая в мыслях всю свою жизнь “даже до смерти”. Очарованный журналом Карамзина, он дает себе обещание отныне “читать его весь со вниманием и на особую бумагу выписывать важные и трогательные места”.

Вместе с ним находилась на судне молоденькая четырнадцатилетняя девушка, очень красивая, умная и знавшая грамоте. Армяне купили ее на ярмарке у помещика Кашкарева, знакомого и Второву. “Не человек, а скот без чувств!” — с негодованием восклицает последний».

Таково сентиментальное путешествие 20-летнего И.А.Второва.

Вскоре начались гонения на Типографскую компанию Новикова (основанную в 1784 г.). Волна гонения достигла в 1794 г. Поволжья. Вот что записано в дневнике

Второва по этому поводу: «Сегодня читал я указ сенаторский, по секрету, о книге под названием: Трагедия Вадима Новгородского, сочинение Княжнина, которым велено у всех осмотреть оной книги и ежели кто не объявит ныне, а после окажется у того, то с тем поступлено будет по закону строго. Прописано, что в оной книге помещены какие-то дерзкие слова, могущие возмутить спокойствие гражданское, относительно правителей и царей. Чудно!»

### Путешествие в Москву на грани двух столетий

Вот запись Второва 1800 г.: «Новое столетие! Итак, дни жизни моей назначены в двух веках человеческого летоисчисления. Сколько времени протекло, как я кручусь в хаосе заблуждения, оставив все, чем пламенно занимался в молодости!»

Через несколько месяцев он отправляется из Самары в Москву и Петербург. «В воскресенье поутру 28-го января [1801 г. — К.М.] въехал я в огромную Москву... Вот, думал я, город, о котором мечтал так много и который ограничивал все мои желания!» Все занимает

Второва: и публичные увеселения, и книги, и литературные знакомства. В Москве застает его известие об убийстве Павла I. Он присутствует при воцарении Александра I. В Москве знакомится с кумиром своим — Карамзиным. Вот как вспоминает Второв оба события:

«В первый день приезда моего весь вечер провел я в доме И.П.Тургенева [тоже волжанина. — К.М.] в самом приятном обществе... У него видел я друга бедных Ивана Владимировича Лопухина и лучшего баснописца нашего И.И.Дмитриева, а в комнатах детей его — многих молодых писателей, известных по сочинениям в издаваемых тогда журналах, из коих помню только г.г. Жуковского Василия Андреевича, кн. Козловского и пожилого уже Невзорова Максима Ивановича» (Жуковский был на 11 лет моложе Второва, в возрасте всего 17 лет).

Второв-провинциал посещает театр университетского благородного собрания (до четырех тысяч персон... русский язык слышен весьма редко), Петровский театр, академии (клубы) музыкальную и танцевальную (при жизни царствовавшего тогда императора Павла запрещены были и названия клубов). В Петровском театре «на-



Москва, 1799 г. Вид Моховой и дома Пашкова. Гравюра на меди Ф.Лорье с оригинала Ж.Деламбарта.

конец увидел я любезного автора, Н.М.Карамзина». Второв посетил его 23 февраля 1801 г. «В зале, на окошке и на полу, лежали большие книги. Он встретил меня ласково, и когда я сказал свое имя, то он отвечал мне, что уже знает меня по словам Андрея Ивановича Тургенева и читал мои сочинения, напечатанные в двух журналах... Он спрашивал меня, где я учился. Как старшина музыкальной Академии предлагал записаться членом оной. На столе лежали напечатанные листы Московского журнала...». Второв встречал Карамзина и в дальнейшем.

«Марта 14-го, — пишет Второв, — в четверток, после обеда, дошел первый слух о смерти императора Павла I. Во всем городе сделалось необыкновенное движение. Сначала шептали и боялись говорить открыто, потом увидели, как все полки, стоящие в Москве, повели в Кремль присягать новому императору Александру I... Куда не придешь, везде только и разговоров было о смерти государя. Сначала шептали, а потом уже говорили вслух о всех подробностях смерти его... Москву можно было уподобить республике по образу жизни, мнениям и свободе. Чрезвычайно любопытным и странным показалось, что многие из молодых щеголей были уже... в круглых шляпах, о чем прежде боялись и думать. Полиция смотрела равнодушно на сей запрещенный наряд».

Началась пышная церемония коронации Александра I. И.А.Второв не мог, конечно, взглянуть на эти празднования. Как Николай Ростов, он сначала восхищается молодым императором: «Надобно сказать о нашем любезном монархе, что милости и кротость его беспримерны. Так много надеются на снисхождение царя, который без сомнения, мыслит по сердцу обожаемой всеми бабки его Великой Екатерины, говорящей в стихах г. Державина

«Не запрещаю я стихотворцам  
Писать и чепуху, и лести...»»

И, конечно, «один только государь был с открытой головой

и кланялся зрителям на обе стороны», и т.д., и т.п.

Но Иван Второв все же проникательнее Николая Ростова. Об оде Державина он сообщает и такие сведения: «Ода г. Державина на вступление государя на престол не была напечатана, но с нее у многих были списки и читались с жадностью. Рассказывали тогда, что государь, приняв сию оду, сделал автору подарок, стоящий шесть тысяч рублей, и не приказал печатать оной. Потом, будто, в Сенате, г. Трошинский [тайный советник. — К.М.], отозвав г. Державина, говорил ему, что верно, государь приказал ему сказать, чтоб он не только не печатал оную оду, но и не давал с нее списков. Г. Державин, будто с огорчением, возразил ему, что, верно, государь приказал ему о том, не в Сенате. «Да, — отвечал г. Трошинский, — ежели бы существовала «Тайная» [пыточная тайная канцелярия. — К.М.], тогда бы сказали тамо; а мне ни времени, ни места не назначено». Так разговаривали со знаменитейшим поэтом эпохи.

## Отечественная война 1812 года. <...> Пленные французы

Второв продолжал жить и трудиться в уездной Самаре. В июне 1812 г. началось вторжение армии Наполеона в Россию. Но только 9-го сентября весть о войне пришла в Поволжье. Она застала Второва временно исполняющим должность городничего уездной Самары. Не похож был Второв-городничий на гоголевского городничего, не походили на гоголевских держиморд и второвские помощники. «Мне прибавилось заботы и трудов невыносимых... Квартального надзирателя не было, а десятских человек восемь из стариков или мальчиков... В городе не было ни одной будки. В городническом правлении находилось только двое писцов: один пьяница, другой потрезвее... Обо всем доносил губернатору и губернскому правлению, прося притом прислать кого-нибудь в помощники. И как ни-

кого не присылали, то просился в учреждающееся тогда ополчение, и на это также промолчали».

В этой обстановке пришлось Второву справляться по своему разумению с <...> прибытием пленных французов. <...>

«Грозный, но «славный памятью» Двенадцатый год задел крылом своим и отдаленную Самару, — продолжает биограф И.А.Второва, — не было почти дома, где бы какой-нибудь член семьи, отец, брат, сын или другой близкий родственник, не служил в армии или в ополчении. Газет не выходило; все сношения с Москвой были прерваны; распространялись одни противоречивые слухи: говорили то о победах, то о поражениях. Известие о занятии Москвы французами было получено в октябре, то есть одновременно со слухами, распространившимися в степи о появлении «Пугача» и о башкирском движении...» «Примите, — приписывает Второв к письму от 4-го октября, — только мой поклон; а писать много некогда... Почта ужасная! Пишу сам, а писаря мои все пьяны... Французы вошли без выстрела в Москву с барабанным боем, но потом опять вышли, награбив несколько вещей и серебра, конечно, церковного на 450 повозках; но под Черной Грязью разбиты и обоз сей отбит... Из Москвы раненные все перевезены во Владимир. В здешнюю губернию ведут пленных французов».

И вот военнопленные французы появились в Самаре, и Второву суждено было принять деятельное участие в их судьбе. Предоставляем слово ему:

«Я должен был беспрестанно встречать и провожать толпы пленных французской армии, разных наций: французов, немцев, поляков, итальянцев, гишпанцев... Раненых и больных везли на подводах, а которые в силах были идти пешком, тех гнали, как свиней, палками... Вместо квартир запирали их кучами в пустых сараях и амбарах. Равнодушно нельзя было смотреть на несчастные жертвы властолюбия Наполеона. Необходимо было действовать».

Первая партия пленных прибыла в Самару в конце сентября 1812 г., уже в глубокую осень. Эту партию в числе 1700 человек вел Владимирского ополчения полковник Языков. «Положение пленных было самое ужасное. Кто в силах был, шли пешком; дрожали от холода, в одних мундирах своих, без всякого зимнего платья, худые, изнуренные; многие падали дорогой, и тех клали на телеги... Их стон и жалобы на бесчеловечные с ними поступки раздирали сердце. Зрелище ужасное и оскорбительное!», — восклицает городничий Второв.

«Прямо с перевоза я бросился в квартиру полковника Языкова,.. изъясняя при этом свое негодование на обращение ратников с пленными, которые упавших от бессилия бьют палками, а медленно идущих также погоняют палками, как скот. Языков... с суровостью возразил мне: “Как Вам не стыдно, сударь, жалеть злодеев, которые наделали столько бед нашему отечеству” — “Они были злодеями, когда имели ружье и дрались, а теперь обезоружены, изранены и убиты несчастьем”. Но моя философия не произвела на него никакого действия. Мы вошли во двор, где снимали больных с телеги. Их было пять человек, францу-

зы. Верхних трех сняли, а лежащие внизу двое были уже мертвы. Начали говорить с живыми по-французски, но они не могли отвечать и только стонали... Один уже не мог есть, а другие двое, вместо лепешек, грызли свои руки до крови».

Вмешательство Второва спасло жизнь сотням французов (и русских тоже). Партия пленных была остановлена. Из Оренбурга прислали медиков. Но из 1700 человек пленных, вышедших из Владимира, Языков привел в Оренбургскую губернию не более 300; из ратников (русских) тоже только половину. «Слышно было, — писал Второв, — что полковник Языков отдан был под военный суд за свое варварство».

Хлопоты самарского городничего на этом не остановились. Надо было помочь пленным пережить зиму: одеть, прокормить, не дать умереть от голода, холода и болезней. Надо было добиться положенного пленным солдатам: «шапку из простого сермяжного сукна, овчинный полушубок, сермяжный кафтан, такие же штаны и онучи, рубашки, рукавицы с варьгами и лапти». В городе был лишь один лекарь («да и тот никого не лечил», — замечает Второв). Надо было думать об охране чело-

веческого достоинства французов, которые ежедневно «озлобляются жителями названием собак, свиней и выдуманным через какого-то целовальника словом “Париж — пардон”». Все, что возможно, было сделано. Летом 1814 г., когда пленных возвращали на родину, «Второв не побоялся устроить для них проводы, до некоторой степени торжественные». Наконец, «посадили их (пленных) в несколько лодок, и лишь отстали они от берега, как на всех лодках полетели шапки вверх и раздались (приветственные) крики, несколько раз повторяемые».

## Второв в пушкинском Петербурге

Трижды И.А.Второв посещает Петербург. Страницы дневника, посвященные столице, полны, как всегда, раздумий и впечатлений, более всего о литераторах, о декабристах.

В 1822 г. (второе посещение) он еще по-прежнему впечатлителен (хотя Второву перевалило за пятьдесят). Описание Невского проспекта заставляет вспомнить о гоголевском: «Около трех верст шел я пешком, но путь самый приятнейший. Длинные цепи огней



Петербург. 1830-е годы. Вид Мойки, снятый со стороны Красного моста. Литография К.П.Багрова по рисунку В.С.Садовникова.



Группа писателей в Летнем саду: И.А.Крылов, А.С.Пушкин, В.А.Жуковский, Н.И.Гнедич. Этюд Г.Г.Чернецова. 1832 г.



по улицам, освещают дорогу, особенно на Невском проспекте — миллионы огней неподвижных и летающих с каретами и колясками. В тех местах, где освещено газом, свет самый разительный, на который трудно глядеть... Какая картина для пешеходов, идущих покойно и безопасно по гладким тротуарам. Три версты покажутся за 30 шагов; вот каково и ночью ходить здесь! А днем, при солнечном свете, все тротуары наполнены толпами франтов и красавиц...» Нстойчивее же всего звучит прежняя, однако, нота: «Но приятнее всего я провожу время в беседах здешних литераторов. Недавно я познакомился с Николаем Ивановичем Гречем, издателем «Сына Отечества». Он прекрасный и прелюбезный изо всех, коих я здесь знаю: вежлив, ласков и мил в обращении. У него бывают по четвергам все авторы». В числе других встречает Второв декабристов: Рылеева, Бестужевых, Сомова, а также И.А.Крылова, Гнедича. «Познакомился он с Дельвигом, которого называет «умным и прекрасным молодым человеком» [Второву было 50, Дельвигу — 24 года. — *К.М.*]. Говорили о вещах, о которых распространяться наш герой находил неудобным даже в своем журнале. Говорили о прошлом, о последних днях царствования императора Павла, об истории Сперанского, о семеновской истории [восстании Семеновского полка. — *К.М.*]... временах реакции и аракчеевщины, об общественной распущенности... Парадам и учениям не было конца. Общественное настроение в эту пору, как в провинциях, так и в столицах было весьма не блестяще: все были недовольны; возникли и распространялись тайные общества с политической целью».

Второв возвращается в Самару. Проходит немного времени, и он записывает в своем журнале: «Какие ужасные слухи о Петербурге. Там было возмущение за присягу другому: лилась кровь человеческая». И несколько позднее: «Известие, напечатанное в «Инвалиде»,

о заговорщиках поразило меня: тут есть мои знакомые: два брата Бестужевы, Рылеев, Сомов, особенно Николай Иванович Панов...» И еще позднее, в августе 1826 г. записано: «...Вот уже 5 человек из них повешено, в том числе и знакомый мне Рылеев, прочие сосланы в каторгу, иные в солдаты. Здесь, через Самару, провезли в конце июля следующих лиц, в солдаты: Петра Бестужева, Ведяникина и Кожевникова, а до 9 августа: Мусина-Пушкина, Вишневского и Лапу. Сих трех последних я видел». В Казани распространяли слух о самоубийстве И.А.Второва.

В 1827 г. Второв отправился в Петербург в третий раз. И в эту поездку главные интересы — литературные, любимые знакомые литераторы: Н.И.Греч, В.И.Панаев (поэт-«карамзинец»), А.А.Дельвиг и, наконец, А.С.Пушкин.

«В 1827 г. еще были свежи воспоминания о 14 декабря, еще не стерлись на некоторых домах Исакиевской площади следы картечи. Гуляя по этим местам, Греч знакомил своего спутника о подробностях кровавого события». И.А.Второв познакомился с А.С.Пушкиным 26 ноября 1827 г. Он записал: «Пошел во 2-ом часу к барону Дельвигу. У него застал Ф.В. Булгарина и Александра Сергеевича Пушкина. В беседе с ними я просидел до 3 часов. Последнего я желал давно видеть и увидел — маленькую белоглазую штучку, более мальчика и ветреного шалуна, чем мужа. Но его шутки, рассказы, критика — совершенно пиэтические; мне не понравилось только, что он считает «дряню» Гнедичеву идилию «Рыбаки»».

По-видимому, Второва поразила молодость Пушкина и его необычная живость. Вторично встретились они в 1831 г. в Симбирске, о чем сохранилась лишь краткая запись: «В Симбирске у губернатора я видел Пушкина, Александра Сергеевича. Он сказывал мне, что был в Казани у Фукса [профессора. — *К.М.*] и стоял вместе с Баратынским». Встреча эта

могла быть очень содержательной. И.А.Второв, пожалуй, как никто в те годы, знал Поволжье, которым Пушкин так интересовался, работая над «Историей Пугачевского бунта». К сожалению, более подробными сведениями о знакомстве И.А.Второва с солнцем русской поэзии я не располагаю.

## Заключение

Второв старел, болел даже холерой. На склоне лет перебрался в Казань, сблизился с казанской профессурой. Познакомился с профессором Иваном Михайловичем Симоновым, одним из первооткрывателей Антарктиды, особенно же с профессором К.Ф.Фуксом, которого Пушкин посетил в Казани в 1833 г.

Второв и скончался в Казани в 1844 г. После него осталась обширная по тому времени библиотека. Она богата собранием французских классиков конца 18-го столетия и еще более русскими периодическими изданиями 18-го и начала 19-го. В ней 2 тыс. томов. Сын, Николай Иванович Второв, пожертвовал ее городу Казани. В Публичной библиотеке Казани она в настоящее время образует особый «Фонд И.А.Второва».

Второв не был великим человеком. Но ни одно из великих событий, которых он был современником, не прошло мимо него, не оставило его безучастным. Живя в провинции, он всей своей жизнью показал, что и в «саратовской глуши» нашей Родины, во времена далекие, глухие и бурные, было немало людей «славных, благородных, сильных, любящих душой».

Закончу повествование об Иване Алексеевиче Второве следующими словами его биографа:

«Чего еще нужно было потомку приказного человека Прокопия Второва, и мог ли мечтать о чем-либо подобном назад тому 50 лет мальчик-учитель в татарской школе, мальчик-канцелярист в уездном суде». ■

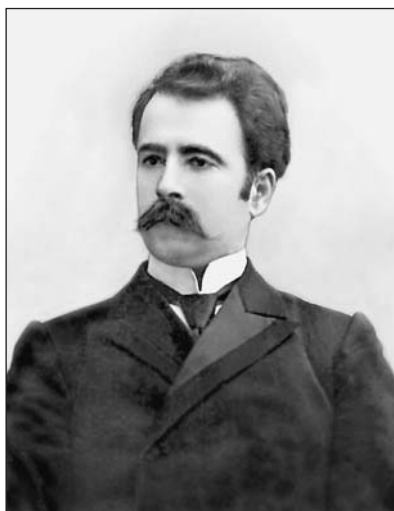
# Школа А.П.Жузе

В.В.Мухина, Г.Х.Казарина,  
кандидаты географических наук  
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН  
А.К.Маркова,  
доктор географических наук  
Институт географии РАН

В домашнем архиве семьи Марковых—Жузе хранятся тетради, заполненные круглым понятным почерком. В этих дневниковых записях практически вся жизнь Анастасии Пантелеймоновны, разно-сторонне талантливого и очень целеустремленного человека, посвятившего жизнь не слишком известной науке — морской микропалеонтологии.

Она появилась на свет в г.Казани. Отец, Пантелеймон Крестович Жузе, родом из Иерусалима, из арабской христианской семьи, в детстве обучался в греческом монастыре. Затем был отправлен учиться в Грецию, а потом в Москву в духовную семинарию. Однако карьера священника его не увлекала. П.К.Жузе стал историком, арабистом, настоящим полиглотом — он знал 16 языков, создал первый русско-арабский словарь в двух томах, который был опубликован в 1903 г. Мать — Людмила Лаврентьевна, в девичестве Зуева, происходила из купеческой семьи, была замечательной женщиной, создавшей вместе с мужем прекрасную атмосферу в доме.

В дружной семье Жузе было семь детей. Все они впоследствии связали свою жизнь с наукой. Старший брат Владимир



П.К.Жузе (1871—1942).

стал крупным физиком, учеником и соратником академика А.Ф.Иоффе, внес огромный вклад в развитие науки о полупроводниках, ему принадлежит одно из первых научных открытий, сделанных в нашей стране в этой отрасли физики; Тамара — известным химиком-нефтяником, Борис — заслуженным геологом, сестра Ольга — биологом-микологом, рано скончавшаяся сестра Александра выбрала психологию, погибший на фронте в 1941 г. брат Георгий — геологию.

Первые годы Анастасия училась в гимназии в Казани,



Л.Л.Жузе (1880—1931).  
Фотография 1907 г., Казань.

но в связи с Гражданской войной и начавшимся голодом в 1920 г. П.К.Жузе решил переехать в Баку, где открывался университет и куда направлялось несколько профессоров из Казани. В 1921 г. он организовал и возглавил восточный факультет Бакинского университета.

А.П. пишет в своем дневнике об этом переезде: «...Я хорошо помню наш переезд всей семьей от Казани на пароходе. Ехали мы пароходом до Астрахани, мама, папа, и нас семеро детей. Младшей Оле было 5 лет, мне 15. Из этой поездки мне запомнилось немного, и, как не стыдно



А.П.Жузе, 1931 г.

сознаться, — ожидание обеда и вкус чудесных щей. <...> Мама спускалась в парходный трюм, где и готовила эти щи, которые казались нам особенно вкусными после казанской голодовки. Рыбная ловля спасала всех, рыбы было много».

В Баку А.П. окончила школу и поступила на естественное отделение физико-математического факультета Бакинского университета, который окончила в 1929 г. В эти годы тяжело за-

болела мать: у нее открылся ко- стный туберкулез, который тогда не умели лечить. Многие месяцы ей приходилось проводить в санаториях и больницах. Она скончалась в 1931 г. Основные обязанности по уходу за младшими сестрами и братьями легли на еще совсем юную Анастасию (или, как ее называли в семье, — Нусю). Удивительная доброта и чуткость натуры позволяли ей во многом заменять мать младшим детям. Исключительная близость между сестрами и братьями сохранялась всю их жизнь.

Несмотря на тяжелые материальные условия жизни в Баку, нехватку денег и продуктов, молодость брала свое. В Баку сложился круг друзей, отношения с многими из которых поддерживались всю жизнь. Вся молодежь семьи Жузе увлекалась оперой и драмой. В Баку приезжали лучшие драматические театры из Москвы (Малый, МХАТ, театр Мейерхольда). В 20-е годы в Баку были хорошие силы в опере, куда П.К.Жузе удавалось получать контрамарки. В эти годы возникла любовь А.П. к классической музыке.

После окончания университета Анастасия Пантелеймоновна не могла найти работу по профилю (гидробиология) в Баку. Пришлось устроиться в биб-

лиотеку, чтобы помогать семье. Однако это ее угнетало, и она записывает в дневник: «Службы по специальности до сих пор нет, и я теряю надежду. Когда читаю работы ленинградских и других гидробиологов, вижу, насколько я ничего не стою, тогда время безрассудно, тогда как могла бы еще учиться и учиться».

Знакомство со специалистом по фитопланктону Иваном Александровичем Киселевым, работавшим в Ленинграде, позволило А.П. получить туда приглашение. Вот запись от 4.02.1930 (г.Баку): «26/1/1930 г. получила от И.А.Киселева письмо. <...> Он пишет, чтобы я послала бумаги на адрес Геологического института. Работа предполагается у В.С.Порецкого по диатомовым водорослям. Причем, главным образом, по ископаемым... Хотя бы все удалось. Я хочу уехать, хотя пугают в Ленинграде голодом и многими еще худшими страхами».

Оказавшись в Ленинграде, А.П. включилась в работы по изучению четвертичных отложений и под руководством Порецкого стала осваивать диатомовый анализ. С 1931 по 1937 г. она проводила исследования флоры водоемов Центральной России, Среднего Урала и Зауралья. Это были первые в практике мировой микропалеонтологии опыты применения диатомового анализа для восстановления истории современных водоемов. В своем дневнике в записи от 12.09.1930 она упоминает о первой встрече с К.К.Марковым (ее часть приведена в очерке о К.К.Маркове).

Встреча Константина Константиновича и Анастасии Пантелеймоновны вызвала у них взаимный интерес и симпатию друг к другу. Вместе они участвовали в полевых экскурсиях. Анастасия Пантелеймоновна с увлечением слушала доклады К.К., которые уже в его молодые годы привлекали многих. Постепенно симпатия перешла в любовь. В 1932 г. они поженились.



Людмила Лаврентьевна с дочерьми Нусей, Шурой и Олей. Баку, середина 20-х годов.



А.П. переехала к мужу. Вместе с ними в коммунальной квартире жили Елена Яковлевна Греикис, вырастившая Константина Константиновича, и его сестра Надя, тоже географ, а также еще три семьи. Вскоре А.П. пригласила из Баку свою младшую сестру, семнадцатилетнюю Ольгу, чтобы помочь ей после смерти их матери. Таким образом, семья пополнилась еще одним членом.

В 1932 г. А.П. с Порецким участвовала в экспедиции по р.Ваге. Вот что она пишет об этой поездке: «14/VII/1932, г.Вельск. Началась моя поездка с Вадимом Сергеевичем Порецким по северным местам. Выехали из Ленинграда 10/VII/1932. Почти полтора суток ехали с В.С. на лошадях от станции Коноши до г. Вельска... (8/VIII/1932) Работу на р.Ваге закончили. Время, проведенное на реке, наверно, надолго останется в памяти как одно из интересных воспоминаний. Плыли 350 км двумя лодками: я, Вадим Сергеевич (Порецкий) и один рабочий вместе, и на другой лодке еще двое рабочих. Река очень живописна и совсем не страшная. Каждую ночь спали на берегу, на складных кроватях, под пологом, такое уймище было комаров. Иногда устраивались в какой-нибудь избе или на сеновале, но чаще прямо на берегу. Среди наших рабочих был молодой красавец из раскулаченных, семья которого вся погибла в этих северных местах. Бедные эти люди жили в дощатых палатках при 30–40-градусных морозах. В живых остались лишь молодые крепкие люди. Одного старика я видела в избе, где мы ночевали. Его привел конвоир перед тем, чтобы куда-то еще отправить. Он сидел молча, глаза его были полны тоски... Отсутствовала только один месяц, очень была занята, столько удалось увидеть; перемена мест, чудесные восходы солнца на реке и черные звездные ночи на берегу... Мне так нравилась неторопливая река Вага. Выплывали

до восхода солнца, все окрашено розовым, вода и небо. Целыми днями на реке с остановками у обнажений. Следила с азартом за охотой на уток, которой занимались наши рабочие, или сладко спала под мирные удары весел».

Благодаря хорошему знанию немецкого и французского языков, яркому таланту научного исследователя А.П. быстро и успешно освоила новое научное направление. В эти годы в Ленинграде сложился талантливый коллектив альгологов (специалистов по водорослям) — В.С.Порецкий, В.С.Шешукова-Порецкая, А.И.Прошкина-Лавренко, О.М.Знаменская, И.А.Киселев. Усилиями этих ученых были заложены основы стратиграфического и палеогеографического направлений в диатомовом анализе, надолго определившие бесспорно ведущее положение советской науки в мировой практике таких исследований.

Первая дочь А.П.Жузе и К.К.Маркова, названная в честь матери Анастасии Пантелеймоновны — Людмилы Лаврентьевны — Людмилой (Людашей), родилась в 1933 г. К величайшему горю родителей, ребенок скончался в возрасте трех лет от дизентерии. До конца своей жизни А.П. хранила чепчик и крестик своей маленькой дочки (нужно сказать, что А.П. была глубоко религиозным человеком).

В 1937 г. семья переехала в Москву, а через два года А.П. защитила кандидатскую диссертацию и опубликовала монографию «Палеогеография водоемов на основе диатомового анализа». Выход из печати книги был большим событием в научной жизни, в этой работе обобщены обширные материалы как отечественной, так и зарубежной литературы и намечены направления дальнейших исследований древних водоемов. 12 июля 1938 г. родился сын Митенька, еще через полтора года — дочка Аленушка. Невосполнимым горем Анастасии Пантелеймонов-

ны была их смерть во время войны, в эвакуации в Алма-Ате, где дети заразились дифтерией и одновременно скончались в январе 1942 г. А.П. одновременно с детьми заболела тяжелой формой дифтерии, была практически без сознания. Она говорила позднее, что это сохранило ей жизнь, так как не сразу осознала свою потерю.

В 1942 г. Жузе и Марков возвратились в Москву из эвакуации. Некоторое время А.П. работала в Институте географии (1942–1943), до рождения своего последнего ребенка — Анастасии. Забота о маленькой дочке заставила ее прервать постоянную работу. Сначала она выполняла работы на договорных началах для нескольких геологических учреждений, а в 1949–1951 гг. принимала участие в создании фундаментального труда по современным и ископаемым диатомеям СССР («Диатомовый анализ», в 3 томах). Этот коллективный труд (кроме нее, авторами были И.А.Киселев, В.С.Порецкий, А.И.Прошкина-Лавренко, В.С.Шешукова) отмечен премией им.В.Л.Комарова (1950) и Сталинской премией I степени по разделу биологических наук (1951). Вот что она пишет в дневнике об этом событии: «Вчерашний день — день полный радостного и, почему-то, грустного волнения. Из газет мы узнали о премировании нашего “Диатомового анализа” Сталинской премией I степени... Наш коллектив 5 человек, а также в числе награжденных — покойный Вадим Сергеевич Порецкий... С утра начались поздравления по телефону и телеграммы. Казалось, что все радуются за меня. А грустно мне потому, что не могли радоваться со мной многие, которые ушли из жизни... Лучше себя чувствую, когда ко мне нет внимания. По натуре боюсь быть нескромною...»

И еще одна запись: «23 августа 1951 г. в Доме ученых нам вручали дипломы лауреатов сталинских премий и медали. Вру-

чение происходило в конференц-зале и обставлено было довольно скромно. Вручал... какой-то чиновник из комитета по Сталинским премиям. Несколько человек было знакомых... Я ушла с середины торжества... встретила в одном из залов Пантелеймона Леонидовича

Безрукова. Рассказала ему о своих последних данных по Охотскому и Беринговому морям, которыми он очень заинтересовался. Все эти материалы исходят от него. В разговоре он спросил меня, разговаривал ли со мной Валериан Григорьевич Богоров, зам. директора Океа-

нологического института. Я сказала, что нет. «Нам дали штатные единицы, и я рассчитываю пригласить вас в свой отдел»».

С 1951 г. научная деятельность А.П. неразрывно связана с Институтом океанологии АН СССР, где она до последних дней (до 1981 г.) работала в отделе геологии океана. Здесь она начала заниматься стратиграфией морских и океанических отложений, а также палеогеографией и палеоокеанологией Мирового океана.

А.П. всегда была независима в суждениях. В сталинское время многие ее близкие и коллеги были репрессированы, в частности ее брат, Владимир Пантелеймонович, который, к счастью, не был уничтожен. Она не скрывала своего радостного облегчения, когда в 1953 г. умер Сталин и когда еще очень немногие осмеливались открыто выражать такого рода чувства.

В 1959 г. А.П. защитила докторскую диссертацию, которая в 1962 г. была опубликована в виде монографии «Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-за-



А.П.Жузе в Париже, в лаборатории Ж.Дефляндра, 1966 г.



Кембридж, 1967 г. Слева направо: М.Г.Ушакова, Р.Симонсен (Германия), В.В.Мухина, (?), А.П.Жузе, Н.Хенди (Великобритания), Г.Хасле (Норвегия), Т.Каная (Япония), Л.Баркл (США).

падной части Тихого океана». В этой работе А.П. суммировала и всесторонне использовала результаты своих многолетних исследований. Ею впервые в мировой практике микропалеонтологических исследований на столь обширном материале были сопоставлены современная и ископаемая флоры диатомей, выявлена смена их комплексов во времени и заложены основы плиоцен-четвертичной боральной зональной шкалы. Современные модификации этой шкалы с успехом используются исследователями различных стран и в настоящее время.

Сопоставив изменения в составе ископаемой диатомовой флоры с климатическими и палеоокеанологическими характеристиками, А.П. восстановила историю формирования диатомовой флоры начиная с миоцена и наметила схему палеогеографического и палеоокеанологического развития всего дальневосточного региона.

В 60-х годах А.П. возглавила в институте группу начинающих микропалеонтологов, в которую вошли В.В.Мухина, С.Б.Кругликова, Г.Х.Казарина, М.Г.Ушакова, О.Г.Козлова, — ныне признанные специалисты по диатомеям, радиоляриям и кокколитах. С ними А.П. связывали не только научные интересы, но и дружеские близкие отношения. Группа А.П.Ж. (так называлось это неформальное объединение специалистов-микропалеонтологов) до сих пор хранит светлую память о своем замечательном учителе, жить рядом и работать вместе с которым было для них огромным счастьем.

Результаты совместных исследований группы опубликованы в ряде работ, в том числе в монографии «Тихий океан. Микрофлора и микрофауна в современных осадках океанов» (1969) и в «Атласе микроорганизмов в донных осадках Мирового океана» (1977).

Многие диатомисты, ныне широко известные не только

в нашей стране, но и за рубежом, находили совет, понимание и научную поддержку у А.П. В домашнем архиве семьи Марковых—Жузе хранятся письма с выражением искренней благодарности из разных городов и весей. Так, из Варшавы пишет С.Ружицкий, получивший от А.П. отзыв на докторскую (кандидатскую по нашим стандартам) диссертацию по четвертичным отложениям своей ученицы Барбары Марциняк: «...Глубоко обязан за оценку. <...> Ведь вы по диатомеям мировой авторитет! <...> Примите мою искреннюю благодарность за благосклонную опеку над трудами Барбары...»

Здесь же письмо из Стокгольма от коллеги, только что прочитавшего ее новую работу, и множество корреспонденции от учеников и стажеров.

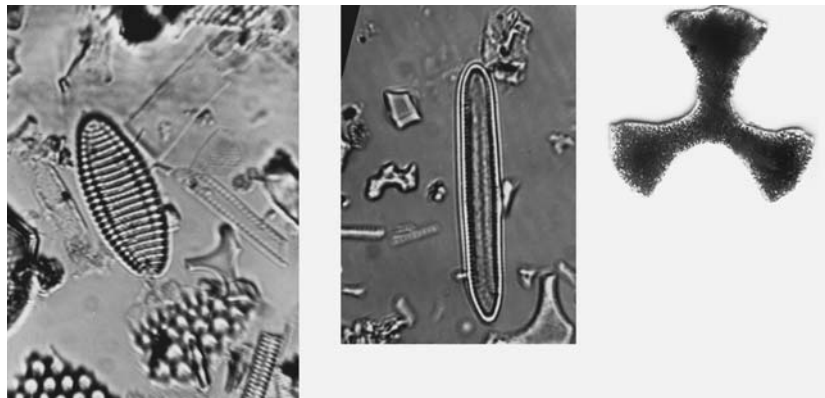
Легко и уютно было с ней молодежи, уверенной в том, что просто и доброжелательно она поможет разрешить самые разнообразнейшие проблемы — сказывался неоспоримый педагогический талант. Во всех концах нашей страны работали и продолжают работать микропалеонтологи, с гордостью относящие себя к школе Анастасии Пантелеймоновны Жузе.

А.П. была безусловным научным лидером, авторитет которого признавали не только многочисленные коллеги и ученики



В 1980 г.

в нашей стране. Огромным уважением пользовались ее работы и у зарубежных микропалеонтологов, со многими из них она поддерживала дружеские отношения долгие-долгие годы, переписываясь, обсуждая еще не опубликованные рабочие материалы, обмениваясь образцами, препаратами, литературой. Корреспонденция к А.П. поступала из Швеции, Франции, Англии, Чехии, Германии, Венгрии, Японии, Норвегии, США и многих других стран. В письмах была не только научная информация. Часто коллеги делились с А.П. своими житейскими заботами,



Микрофотографии диатомей *Jousea elliptica* и *Nitzschia jouseae* и радиолярии *Dictyocoryne jouseae* (увел. 900 раз), названных в честь А.П.Жузе.





В Институте океанологии им. П.П.Ширшова РАН (1979). Слева направо сидят: А.П.Жузе, М.П.Чеховская, Алан Бе (США), К.В.Беклемишев, С.Б.Кругликова; стоят: Н.В.Беляева, М.А.Левитан, Г.Х.Казарина.

печалями и радостями. В фотоальбоме А.П. большое количество фотографий не только коллег по работе, но и их супругов и детей.

А.П.Жузе была великолепным организатором, ее оптимизм и научный энтузиазм помогли консолидироваться диатомологам всего мира. Она была инициатором создания Международного симпозиума по современным и ископаемым диатомеям, первое совещание которого состоялось в 1967 г. в Кембридже. И с тех пор оно проводится раз в два года, собирая несколько сотен специалистов.

Последние годы жизни А.П. счастливо совпали с бурным развитием геологических и, прежде всего, микропалеонтологических исследований в океанах, связанных с началом работ бурового судна «Гломар Челленджер». Жузе, как уникальный специалист, знавший и современную, и древнюю морскую диатомовую флору, активно включилась в изучение материалов из различных частей Мирового океана.

В этот период А.П. с группой своих сотрудников публикует многочисленные работы (монографии, статьи, разделы в отчетах по глубоководному бурению), в которых развиваются современные представления

о зональной стратиграфии океанских осадков для различных климатических поясов, об эволюции флоры диатомей Мирового океана, детализируются таксономия и систематика диатомовых водорослей.

На основании изучения ископаемых материалов, включая материалы глубоководного бурения с бурового судна «Гломар Челленджер», А.П. установила последовательность развития бореальной, тропической и антарктической флор диатомей начиная с эоцена. Впоследствии многие из этих данных были использованы для разработки кайнозойских стратиграфических шкал по диатомеям.

Анастасия Пантелеймоновна опубликовала шесть монографий, более 100 научных работ. Ею было описано огромное количество новых таксонов, в том числе: порядок *Mediales*, подсемейство *Liradescoideae*, роды *Bogorovia*, *Kozloviella*, *Lisitzinia*, *Poretzkia*, *Pseudopodosira*, *Riedelia* и 165 новых видов диатомей и силикофлагеллят.

Глубокое уважение и искренняя любовь, которыми пользовалась А.П. у своих коллег-микропалеонтологов, нашли отражение в названиях новых таксонов микроорганизмов, названных отечественными и зарубеж-

ными исследователями в ее честь.

\* \* \*

Анастасии Пантелеймоновне всегда удавалось совмещать научную работу с домашними хлопотами. Бытовая сторона жизни семьи в основном лежала на ней. К.К. часто находился в экспедициях и командировках, был очень занят. В доме же постоянно собирались родные и близкие друзья: подруга А.П. — А.А.Благовещенская, сестры Тамара и Ольга, братья Владимир и Борис. Большое внимание А.П. уделяла племянникам, и особенно дочери брата Бориса, Тане, которая каждое лето проводила на даче в деревне Ивановское на Истре вместе с семьей Маркова—Жузе, где ее считали второй дочерью. Здесь собиралась большая компания. Условия жизни были самые простые: готовили на керосинке, воду носили в ведрах с колодца, что не мешало наслаждаться чудесной природой Подмосковья, совершать прогулки вдоль Истры, походы за грибами и ягодами.

Даже на даче А.П. находила время подолгу работать за микроскопом. Поддержка близких, умение смягчать сложный характер К.К., во всем помогать

На даче, 1962 г.



дочери и внуку было для нее естественной потребностью. Никогда не ругала за плохие отметки в школе, а, напротив, утешала. Много читала им вслух в детские годы, стараясь выбирать что-то подходящее из Пушкина, Чехова и Льва Толстого. А.П. никогда ничего не требовала от своих близких, была очень легким по характеру человеком: больше «давала», чем «брала».

До старости в ней сохранялась детская наивность, она легко удивлялась. Всегда глубоко ее трогала музыка, особенно в исполнении Святослава Рихтера, который был ее любимым исполнителем. Так она пишет о посещении его концерта в 1952 г.: «Слушаю второй раз 3-й концерт Бетховена в исполнении С.Рихтера. Вчера слушала его на концерте в зале Чайковского, а сегодня по радио. Сидеть в чудном зале, видеть вокруг нарядных людей, постепенно уносится мыслями — было так хорошо. У меня всегда

чувство страха за Рихтера. Вот второй день он играет с такой силою...»

Анастасия Пантелеймоновна любила литературу, постоянно возвращаясь к своим любимым писателям — Льву Толстому и Ф.М.Достоевскому. Очень ценила произведения А.П.Чехова, М.Пруста, Г.Мопассана, К.Гамсуна. Читала Франсуазу Саган по-французски и Агату Кристи на английском языке, который выучила уже в преклонные годы. Знала также немецкий язык. Практически каждый день находила время написать несколько строк в свой дневник, который представляет летопись ее жизни. Вела многолетнюю переписку со своими друзьями А.И. и Е.М.Лавренко, Г.И.Горецким, шведским ученым Кольбе и многими другими. Анастасия Пантелеймоновна была, несомненно, литературно одарена; это проявлялось в ее письмах, дневнике, а также в сочиняемых ею экспромтом сказках, которые она рассказывала изо дня в день

сначала своей маленькой дочери, а впоследствии внуку.

Сохранилось письмо белорусского геолога, академика Г.И.Горецкого, Анастасии Пантелеймоновне Жуже: «Я Вам уже как-то говорил о песенке Петра (имеется в виду герой — вернее, героиня — одноименного фильма), в которой поется о том, что «хорошо, когда работа есть». А работа — это ведь жизнь; любимая же работа — это счастье, творческая же работа — неувядающее счастье». Исходя из этой оптимистической классификации, А.П. была счастливым человеком, несмотря на удары судьбы и трудности жизни. И еще несколько строк из другого письма Горецкого: «...На моем исследовательском пути встречи с Константином Константиновичем и Вами оказали самое благотворное влияние. Земной поклон Вам, дорогие прекрасные спутники, обогатившие жизнь и мою, и многих других». ■

# Новости науки

## Астрофизика

### Извержения на Солнце — в трехмерном виде

Наблюдения нашего светила и его короны современными методами позволяют довольно подробно представить себе строение Солнца и в известной мере понять процессы разогрева короны и возникновения солнечного ветра. Однако интерпретация этих наблюдений нередко бывает спорной, так как трехмерные структуры короны приходится рассматривать в двухмерном изображении. Особенно этот «врожденный порок» свойствен конфигурации магнитного поля нашей ближайшей звезды, сжатие которого порождает мощные потоки солнечного ветра — явления отчетливо трехмерного. Наиболее интересны солнечные вспышки — гигантские взрывы на поверхности светила, а также выбросы корональных масс — колоссальных «пузырей» газа. Астрофизики давно мечтают увидеть и те, и другие в трехмерном изображении.

Такую возможность дает работа американских астрофизиков Т.Дж.Моргана (T.G.Morgan; Центр космических полетов им.Годдарда НАСА) и Дж.М.Давила (J.M.Davila; Американский католический университет в Вашингтоне).

Когда в 11-летнем цикле солнечная активность снижается до минимума, структура короны становится достаточно стабильной для того, чтобы наблюдения в течение 27 земных суток (период полного оборота светила вокруг своей оси) использовать в целях томографической реконструкции, подобной той, которую применяют при медицинском сканировании. Эта методика уже использо-

валась для изучения рассеянного электронами светового излучения в оптическом диапазоне, а также при рассмотрении отдельных ультрафиолетовых линий спектра. Но такие быстропротекающие явления, как внезапно возникающие «пузыри» газа, томографическим методам недоступны. Несмотря на весьма умеренную долю их массы в общем потоке солнечного ветра, именно они играют существенную роль в формировании космической погоды, которая способна вывести из строя приборы на спутниках и причинить вред здоровью космонавта. (Можно, например, напомнить, что выброс корональных масс, случившийся в конце октября 2003 г., не только вызвал чрезвычайно красочные полярные сияния, но и привел к сбоям в электросетях чуть ли не по всей планете.)

Только трехмерное изображение этого явления позволит анализировать направленность магнитного поля, которое в значительной мере контролирует погодные события в околоземном пространстве.

Один из способов представления трехмерной структуры состоит в том, чтобы измерять доплеровское смещение спектральных линий и сочетать определенные таким образом лучевые скорости с серией изображений, отражающих видимое движение. Другой метод основан на построении изображения коронального выброса по наблюдениям из различных точек. Именно он будет использован после ноября 2005 г., когда на орбиту выйдут два спутника системы STEREO (Solar-Terrestrial Relations Observatory — Обсерватория по изучению солнечно-земных связей). Эти ИСЗ будут находиться на общей около-

земной орбите, но на известном расстоянии друг от друга, что позволяет строить стереоскопические изображения объекта.

Но Морган и Давила, не дожидаясь этого момента, предлагают свой оригинальный метод. Известно, что световое излучение, рассеиваемое электронами выброшенной корональной массы, приобретает поляризацию, часть которой зависит от угла рассеивания, — измерение поляризации и позволяет найти этот угол. Для каждой точки изображения, создаваемого коронографом, подобным образом можно определить среднее расстояние, отделяющее рассеивающий участок плазмы от небесной плоскости. Располагая этой информацией, исследователи строят изображение выброшенной корональной массы с помощью широкоугольного спектрометрического коронографа LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph), который работает на борту ИСЗ «SOHO». Новая методика позволяет намного точнее определять угол, под которым корональные массы извергаются с поверхности Солнца, и тем самым устанавливать вероятность их вторжения на Землю. А существующие ныне методы — STEREO и спектрографическая техника — могут дополнять друг друга. Поляризационные способы определяют средние расстояния от плоскости неба, а спектры — распределение более плотных скоплений газа вдоль линии наблюдения по их специфическим температурам.

Спутники системы STEREO дают трехмерную информацию, но они годны лишь для простейших структур при прямых реконструкциях процессов и обычно требуют интерпретации с помо-



пью моделирования. Лишь сочетание всех методик позволит продвинуть проблему надежного прогноза космической погоды, а также уточнить представления о процессах на Солнце.

Science. 2004. V.305. №5680. P.49, 66 (США).

## Астрофизика

### Вселенная в инфракрасном свете

В августе 2003 г. после многочисленных отсрочек вышел на орбиту американский аппарат «SIRTF» («Space Infrared Telescope Facility»), переименованный затем в «SST» («Spitzer Space Telescope») и еще короче — в «Spitzer». Первые результаты его работы были представлены на 204-й конференции Американского астрономического общества (Денвер, июнь 2004 г.) научным руководителем эксперимента М.Вернером (M.Werner; Лаборатория реактивного движения в Пасадене). Аппарат отличается от прежних аналогов глубоким (до 5 К) охлаждением бортовых приборов, что особенно важно при наблюдении тепловых излучений от удаленных объектов. Это значительно расширило как пространственные, так и временные возможности исследования Вселенной. Находясь на орбите, проходящей в 15 млн км от Земли, аппарат может получать изображения как близких, так и далеких астрономических объектов.

Интерес специалистов привлекло сопоставление изображений одних и тех же небесных тел в оптической и в инфракрасной частях спектра.

При наблюдениях в оптическом диапазоне подлинная сущность многих галактик скрывается за плотной завесой темной космической пыли. Лучшим примером здесь служит известная дисковая галактика NGC 5746. В инфракрасных же лучах она предстает четким кольцом нагретых пылевых частиц, где рождаются новые звезды; на некоторых изображениях, полученных в ИК-лучах, можно различить уже сформировавшиеся

звезды, что позволяет судить об общей звездной массе. До сих пор это было невозможно.

Участники работы Дж.Фацио и М.Паре (G.Fazio, M.Pahre; Гарвардско-Смитсоновский астрофизический центр в Кембридже) ведут с помощью аппарата «Spitzer» наблюдения сотни относительно близких к нам галактик. Исследователи полагают, что вскоре может возникнуть необходимость пересмотра классификационной схемы, заложенной 75 лет назад известным астрономом Э.Хабблом. Об этом говорят уже обнаруживаемые только в инфракрасном диапазоне морфологические черты объекта. Так, полной неожиданностью для специалистов стало открытие целого класса относительно бесформенных галактик, содержащих четкие спиральные скопления космической пыли, что роднит их со спиральными галактиками типа Млечного Пути и отличает от эллиптических звездных систем.

Обнаружились и другие факты, ставшие очевидными лишь с использованием приборов аппарата «Spitzer». Так, коллектив, возглавляемый астрономом Р.-Р.Чари (R.-R.Chary; Научный центр им.Спитцера в Пасадене), провел ряд наблюдений разогретой пыли в галактиках, уже существовавших, когда Вселенной было всего около 2 млрд лет. Выяснилось, что слабо светящиеся красные объекты (вероятно, относящиеся к той эпохе сравнительно молодые галактики) плотно усеивают собой все поле зрения аппарата «Spitzer». Их изобилие говорит о том, что самый ранний процесс образования звезд происходил в простых, заурядных галактиках, тесно окутанных скоплениями пыли, а не в менее многочисленных гиперактивных галактиках, которые излучают в иных диапазонах спектра.

Открытия последовали и в более близких районах Вселенной. Так, группа, руководимая Б.Бхаттачария (B.Bhattacharya; Научный центр им.Спитцера в Пасадене), произвела инфракрасную съемку Солнечной системы. При этом проявились медленно движущиеся

астероиды, переизлучающие тепловую энергию Солнца. Пока еще немногочисленный ряд наблюдений уже позволил построить изображения 11 известных астероидов и открыть в области эклиптики — плоскости, в которой обращаются планеты, — семь новых малых планет. Даже в пяти угловых градусах над эклиптикой, где, как полагали ученые, астероидов должно быть меньше, этой группе удалось наблюдать, помимо четырех «знакомых», еще 12 подобных малых планет. Тот факт, что значительное число орбит наклонено к эклиптике, заставит специалистов пересмотреть ряд моделей, описывающих процессы возникновения и развития астероидного кольца в Солнечной системе, а также переосмыслить их роль в затенении изображений более далеких районов космоса.

Миссия аппарата «Spitzer» должна продлиться до конца 2008 г. Столь длительному сроку способствует очень малый расход жидкого гелия на поддержание сверхнизкой температуры бортовых приборов.

Science. 2004. V.304. №5678. P.1740 (США).

## Астрофизика

### Как оценивать солнечный рентген?

Во время мощнейшей вспышки на Солнце, случившейся 4 ноября 2003 г., произошел колоссальный всплеск рентгеновского излучения; он вывел из строя соответствующую аппаратуру на американском ИСЗ системы «GOES» («Geostationary Observation Environmental Satellite» — «Геостационарные оперативные спутники, наблюдающие природную среду»). По случайному совпадению, в это время научные сотрудники Университета Отаго (Новая Зеландия) вели под руководством геофизика Н.Томсона (N.Thomson) рутинные наблюдения в области распространения радиоволн очень низкой частоты, используя передатчики и приемники, расположенные в таких удаленных друг от друга ме-

стах, как американские штаты Вашингтон, Северная Дакота и Гавайи, а также новозеландский Южный остров.

Известно, что усиление рентгеновского излучения приводит к опусканию нижней границы ионосферы Земли. Это оказывает влияние на фазовую характеристику радиопередач, ведущихся на низких частотах.

Так как положение нижнего слоя ионосферы непосредственно связано с интенсивностью рентгеновской радиации в данный момент, появляется возможность по-новому оценивать мощность солнечных вспышек, чем и воспользовались новозеландские геофизики. Применяв оригинальную методику, они присвоили ноябрьской вспышке индекс Х45, что значительно превышает ранее данный другими исследователями индекс Х28. Таким образом, Солнце вдвое побило свой прежний рекорд. А специалисты получили в свое распоряжение новый способ оценки событий, происходящих на светиле.

*Astronomy and Geophysics. 2004. V.45. №3. P.327 (Великобритания).*

## Астрономия

### Переменный характер «неподвижной» звезды

Хотя Полярная звезда далеко не самая яркая на нашем небе, она пользуется славой из-за того, что все остальные ночные светила Северного полушария выглядят вращающимися именно вокруг нее, а сама она считается неподвижной. Это небесное тело у многих народов служит образцом «верности»; недаром у Шекспира Юлий Цезарь говорит: «Но постоянен я, как Севера звезда». Разумеется, в наши времена подобное утверждение — лишь метафора, и Полярную звезду давно уже «уличили» в переменчивости. Теперь этот факт существенно уточнен.

С точки зрения современного специалиста, Полярная является ближайшей к нам цефеидой — гигантской переменной звездой, прожившей почти все отведенное

ей природой время. Она, то расширяясь, то «сжестиваясь», ритмично становится то более, то менее яркой. Этот цикл по длительности близок к четырем суткам, но замечено, что с каждым годом он увеличивается примерно на 8 с. Кроме того, само колебание яркости постепенно делалось менее отчетливым; столетие назад звезда, сокращаясь, утрачивала до 15% яркости, а в 1990-х годах — уже только около 2%. Общая светимость Полярной за тот же период потеряла по меньшей мере 15% своей интенсивности.

Но все это не столь просто, как показал в своем докладе на конференции Американского астрономического общества (Денвер, июнь 2004 г.) С.Энгл (S.Engle; Виллановский университет, штат Пенсильвания).

Вместе с группой коллег он сравнил оценки светимости Полярной, сделанные астрономами с древнейших времен по наши дни, и других хорошо изученных ночных светил. Начав с трудов Клавдия Птолемея, жившего в Александрии Египетской во II в., они затем уяснили точку зрения древнеперсидского звездочета Аль-Суфи (X в.) и, наконец, проштудировали выводы из наблюдений множества более близких к нам по времени специалистов. И пришли к заключению: ныне Полярная светит в 2,5 раза слабее, чем во времена Птолемея, который изучал ее в 137 г. Такое изменение всего за какие-нибудь неполные две тысячи лет для астрономии нельзя не считать очень резким: оно оказывается в 100 раз большим, чем утверждают принятые теории эволюции звезд, которые в случае, если этот вывод подтвердится, придется пересматривать.

С середины 1990-х годов цикличность Полярной в ее поярчании и потускнении внезапно стала несколько более отчетливой. Правда, канадский астроном Д.Тернер (D.Turner; Университет Сент-Мэри в Галифаксе, провинция Новая Шотландия) полагает, что резкость наблюдаемых перемен в светимости может быть лишь временным явлением. Воз-

можно, это вызвано влиянием небольшого скопления звезд, связанных с Полярной, из чего следует, что она находится от нас «всего» в 306, а не в 431 световых годах.

Математические модели, описывающие характер цефеид, достигших стадии наименьшей светимости, говорят, что эти звезды проходят через первый из нескольких циклов переменной яркости, перемежающихся периодами относительного покоя. Согласно выполненному Тернером анализу, Полярная приближается к первому в ее жизни периоду покоя. Ученый ссылается на тот факт, что атмосфера этой звезды ныне уже сходна с атмосферами стабильных звезд, и всего лет через сто Полярная сама станет полностью таковой.

*Science. 2004. V.304. №5678. P.1741 (США).*

## Планетология

### Странности древней Фебы

В начале июня 2004 г. космический аппарат «Cassini», направляясь к основному объекту своих наблюдений — Сатурну, — прошел вблизи одного из спутников этой планеты — Фебы. При этом расстояние, отделявшее аппарат от крошечного небесного тела, было беспрецедентно малым, в 1 тыс. раз меньшим, чем при любом из прежних посещений. Это позволило получить подробные изображения Фебы. Их обработка в Лаборатории реактивного движения НАСА США привела к ряду неожиданных выводов.

В прежних наблюдениях Феба выглядела обычным грязным обломком. В общих чертах это подтвердилось, но заодно выяснились и немаловажные подробности. Видимо, Феба была захвачена мощным притяжением Сатурна около 4,5 млрд лет назад, и за этот период на ее эволюции и нынешнем состоянии сказалось немало событий.

Феба напоминает астрономам кометные тела, которые условно можно именовать «грязными снежками»; так называемая «грязь» об-

разует сплошной внешний слой, а внутренняя часть состоит из льда. Считалось, что своей «серостью» Феба схожа с ядром обычной кометы, которому «полагается» извергать потоки газов и пыли. Однако фотографии, присланные с борта «Cassini», показывают, что темная оболочка отнюдь не сплошная; сквозь нее местами проглядывают довольно яркие пятна — вероятно, сравнительно чистый водяной лед. Кроме того, светлые ледяные участки располагаются и во многочисленных небольших свежих кратерах, возникших при столкновениях Фебы с иными небесными телами. Видны полосы льда и на крутых стенках, где темное вещество сползло вниз. Таким образом, Феба, подобно известным кометам, представляет собой смесь льда, камня и темных органических веществ, слипшихся воедино более 4 млрд лет назад.

Но есть у Фебы и отличия от комет. Так, она не подвергалась испарению под воздействием солнечного облучения, которое у обычных комет «съедает» до половины массы. Именно это, по мнению канадского астронома Б.Гладмана (B.Gladman; Университет провинции Британская Колумбия), делает ее особенно интересным объектом исследования. Феба, по всей видимости, — первое наблюдаемое вблизи относительно крупное тело, которое мало изменилось со времен образования внешних планет Солнечной системы.

Район возникновения этого небесного тела и его первичная орбита, видимо, были близки к орбите Сатурна, и этот газовый гигант сумел превратить его в свой спутник. Все же остальные «строительные блоки» внешней области Солнечной системы могли быть «разогнаны» в стороны планетами и застряты за орбитой Нептуна, в поясе Койпера, который по сей день служит источником комет, или же могли быть вышвырнуты на самые удаленные окраины системы, т.е. в ту область, откуда к нам приходят кометы. Впрочем, не исключено, что Феба появилась в нынешней области, покинув заплутонный диск, а Сатурн своим

тяготением захватил ее, когда она уже прекратила приращивать массу. Так или иначе, объем информации, поступившей от «Cassini», дал обильную пищу для решения вопросов строения и эволюции наиболее древних и «нетронутых» тел нашей системы.

Даже еще не завершенная обработка данных позволила получить подтверждение ранее робко высказанной гипотезы, согласно которой Феба есть «прародительница» других внешних спутников Сатурна. Еще в 2001 г. тот же Гладман с коллегами предположили, что некоторые из совсем мелких спутников этой планеты, обладающих определенным сходством с Фебой, вовсе не были захвачены гравитационным полем Сатурна, как считали многие, но откололись от Фебы в момент ее столкновения с крупным телом. Авторы гипотезы тогда предсказывали, что она сможет подтвердиться, если на Фебе будет обнаружен хотя бы один кратер ударного происхождения с диаметром не менее 50 км. Полученные «Cassini» изображения подтверждают существование там целого ряда таких кратеров.

Science. 2004. V.304. №5678. P.1727 (США).

#### Физика

### Рентгеновская трубка с катодом из нановолокон

Специалисты из Технологического института г.Нагоя (Япония) разработали конструкцию сверхминиатюрной рентгеновской трубки с катодом из углеродных нановолокон. Она представляет собой стеклянную трубку диаметром 2 мм и длиной 5 мм, в которую впаяна трубка из нержавеющей стали внутренним диаметром 0.5 мм. Катод из молибденовой проволоки, на которой методом химического осаждения выращен слой вертикально ориентированных нановолокон, помещен внутрь стальной трубки.

В качестве мишени использовали медную пленку толщиной ~3 мкм, осажденную на алюминиевую пластинку толщиной 0.1 мм.

Потенциал, приложенный к катоду, варьировали в диапазоне от 10 до 15 кВ, что обеспечивало ток электронной эмиссии 50 мкА (при более высоких значениях тока мишень повреждалась). Измерение вольт-амперных характеристик эмиттера показало их соответствие классической зависимости Фаулера—Нордгейма, что свидетельствует о полевом механизме эмиссии электронов. Спектр рентгеновского излучения состоял из двух линий ( $K_{\alpha}$  и  $K_{\beta}$ ) с максимумами вблизи 8 и 9 кэВ соответственно, наложенных на сплошной спектр, который обусловлен тормозным излучением электронов.

При испытаниях рентгеновской трубки получены изображения биологических объектов (в частности, листьев деревьев) с высоким уровнем разрешения, недостижимым при использовании традиционных коммерческих рентгеновских аппаратов.

Applied Physics Letters. 2004. V.85. P.5679; [http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5\\_01\\_02/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5_01_02/index.htm)

#### Физика

### Антенны из нанотрубок

Возможность изготовления антенн из многостенных углеродных нанотрубок подтверждена экспериментально на их упорядоченных массивах длиной  $L = 0.2—1.0$  мкм (диаметр каждой нанотрубки равнялся около 50 нм).

Чувствительность антенны зависит от угла между ее осью и плоскостью поляризации излучения (эффект поляризации), а также от соотношения между  $L$  и длиной волны  $\lambda$  (эффект длины). Максимальная чувствительность достигается при  $L = 0.5\lambda$ ,  $\lambda$ ,  $1.5\lambda$  и т.д. В эксперименте наблюдались оба эффекта.

К числу возможных практических применений нанотрубочных антенн относится, в частности, их использование в оптоэлектронике в качестве ИК-поляризаторов и детекторов.

Applied Physics Letters. 2004. V.85. P.2607; [http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5\\_03/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5_03/index.htm)



### Нанотрубки для топливных элементов

Топливные элементы — это химические источники тока, обеспечивающие длительную непрерывную работу благодаря постоянному подводу к электродам жидких или газообразных реагентов. Топливо (метанол или водород) подается к одному электроду, а окислитель (обычно кислород) к другому. В качестве электролитов в последнее время стали использовать твердые полимеры. Применяемые в топливных элементах электрокатализаторы (ими служат металлы платиновой группы) создают на основе углеродных носителей — как правило, сажи или технического углерода. Недавние эксперименты показали, что замена их на углеродные нанотрубки или нановолокна позволит повысить активность электрокатализаторов (а следовательно, и эффективность работы топливных элементов). Это обусловлено уникальными свойствами нанотрубок и нановолокон — высокой удельной поверхностью, электропроводностью, прочностью.

В России ведутся успешные исследования и разработки в области топливных элементов<sup>1</sup>. В РНИЦ «Курчатовский институт» занимаются топливными элементами с твердым полимерным электролитом. Исследователи из Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева разработали электрокатализаторы из наночастиц платины и палладия на основе углеродных нанотрубок и нановолокон (в том числе в виде «нанобумаги»). Добились успеха и китайские специалисты: они создали электрокатализатор из наночастиц платины на углеродных нанотрубках (10 вес.% Pt) для прямых метанольных топливных элементов.

Электрохимические характеристики катализатора зависят от

<sup>1</sup> Водородная энергетика будущего и металлы платиновой группы. Межд. симпозиум. Сб. материалов. М., 2004. С.69, 135.

размеров и морфологии углеродных нанотрубок и нановолокон, которые, в свою очередь, определяются размерами, формой и распределением частиц катализатора, а также условиями синтеза. Для создания эффективного носителя катализаторов для топливных элементов с твердым полимерным электролитом группа специалистов во главе с Ф.Юанем синтезировали методом термического каталитического CVD (Chemical Vapour Deposition — химическое осаждение из газовой фазы) и исследовали углеродные нанотрубки и нановолокна (скрученные и прямые) разных диаметров<sup>2</sup>. Лучшие результаты получены для нанотрубок и нановолокон с меньшими диаметрами, причем наиболее эффективными оказались скрученные нановолокна (возможно, их неровная поверхность способствует равномерному распределению частиц платины).

Можно надеяться, что уже в ближайшем будущем углеродные нанотрубки и нановолокна начнут работать в реальных топливных элементах.

Electrochemical and Solid-State Letters. 2004. V.7. №9. P.A286; [http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5\\_01\\_02/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5_01_02/index.htm)

### Генетика

#### Генетическая дивергенция у птиц

Если популяция какого-либо вида животных занимает обширную территорию, то в разных местах может происходить отбор на лучшую приспособленность к конкретным условиям. В результате между отдельными группами особей накапливаются генетические различия. Однако генетической дивергенции популяции, ее подразделению на группы, противостоит расселение особей, в первую очередь молодых. Если серьезных физических преград для перемещения нет, оно обычно рассматривается как случайный процесс, выравнивающий генети-

<sup>2</sup> Yuan F. et al. // Nanotechnology. 2004. V.15. №10. P.S596—S602.

ческий состав популяции. На самом же деле расселение может привести и к обратному результату — возникновению генетических различий между соседними группами.

Недавно удивительные примеры пространственной сегрегации разных генотипов обнаружены в двух небольших популяциях обычного вида птиц — большой синицы (*Parus major*). Одни исследования велись в Голландии на о.Влиланд (Северное море)<sup>3</sup>, другие — в небольшом лесном массиве Витам, в окрестностях Оксфорда (Англия)<sup>4</sup>. В каждой из популяций есть по меньшей мере две группы особей, обитающих неподалеку друг от друга, но сохраняющих генетические различия. На о.Влиланд они проявляются в величине кладки (числе отложенных яиц), а в лесу Витам — в массе тела слетков. В обоих случаях расстояние между участками разных группировок не превышает 1—3 км, т.е. ничтожно мало по сравнению с тем, на которое эти птицы обычно перемещаются. Поскольку почти все синицы обследуемых популяций гнездятся в дуплянках (искусственных гнездах, изготовленных человеком), их легко отлавливать, маркировать и отслеживать их «родословные». Важно подчеркнуть, что весь период наблюдений (1975—1995 гг. на о.Влиланд и 1965—2000 гг. в лесу Витам) дуплянки оставались на одних и тех же местах.

На о.Влиланд выделены «западная» и «восточная» группировки. В «западной» средняя величина кладки на 1.15 яиц больше, чем в «восточной», но выживаемость птенцов понижена, видимо, из-за недостаточной их обеспеченности полноценным питанием. Разделение двух группировок на о.Влиланд не абсолютно: какое-то количество птиц, появившихся на свет на одном участке, для гнездования перемещается на другой. Кроме того, на Влиланд прилета-

<sup>3</sup> Postma E., Noordwijk A.J.van // Nature. 2005. V.433. P.65—68.

<sup>4</sup> Garant D., Kruuk L.E.B., Wilkin T.A. et al. // Nature. 2005. V.433. P.60—65.

ют синицы с других островов или с материка.

Выяснилось, что около 40% наблюдаемой изменчивости размера кладки обусловлено генетически. «Восточная» группировка оказалась более изолированной — к ней ежегодно добавляется в среднем только 13% птиц из других мест, тогда как к «западной» — около 43%. Иммигранты несут гены, ответственные за более крупный размер кладки, и этот признак, вовсе не являющийся благом для жизни на острове, поддерживается в «западной» группировке.

В английской популяции синиц с 1965 г. значимо уменьшилась средняя масса слетков в восточной части леса Витам, а на севере осталась неизменной. Генетически «северная» группировка оказалась гораздо более гетерогенной, чем «восточная». Поскольку между соответствующими участками леса расстояние всего 2 км, а около 50% впервые гнездящихся синиц в каждой из группировок — это иммигранты, непонятно было, за счет чего поддерживаются генетические различия. Как выяснилось, главная роль принадлежит молодым птицам, которые, расселяясь из центральных районов лесного массива, отправляются по разным направлениям, в зависимости от своей массы! Более крупные особи, как правило, летят на север, мелкие — на восток. Подобная тенденция отмечается даже в одном и том же выводе! Причину ее авторы видят в различиях плотности популяции синиц: в восточной части она почти в два раза выше, чем в северной, и это создает серьезную нагрузку на кормовую базу в период выкармливания птенцов.

Главный вывод, который можно сделать на основе этих данных, сводится к тому, что генетические различия между группировками соседних территорий могут поддерживаться, а не сглаживаться за счет неравномерного расселения молодых особей.

© Гиляров А.М.,

доктор биологических наук  
Москва

## Зоология

### Остроумные методики исследований

Все более сложный характер исследований в области биологии земноводных и пресмыкающихся вынуждает герпетологов постоянно искать новые необычные методики. Пытливость настоящих ученых нередко приводит в таких случаях к маленьким изобретениям. Довольно простым, направленным на решение очень частных и специализированных задач, но при этом изящным и остроумным.

Вот сразу два таких оригинальных приспособления, описанных в одном из последних герпетологических журналов<sup>1</sup>.

Первое связано с полевым изучением ядовитых змей. Работа, требующая особой осторожности и аккуратности: объект не только смертельно опасный, но и необычайно ловкий. Удерживать его в руках и одновременно обследовать, измерять, метить — дело не для слабонервных. Проблема и в том, как донести пойманную змею до лаборатории. Обычно ее сажают в мешок, но разгневанная и испуганная рептилия добровольно в него не полезет. Требуется проявить определенную сноровку, чтобы «упаковать» смертельную добычу, а затем ее из мешка извлечь. Змея может «ужалить» неосторожного исследователя, прокусив ткань мешка. Но риск этим не ограничивается. Обычно исследовательские работы предполагают общение со многими экземплярами, но сажать в один мешок более одной змеи не рекомендуется. А переносить множество таких угрожающих мешков по крайней мере несподручно.

С этими проблемами столкнулись американские герпетологи из Университета Обурна при наблюдениях за водяным щитомордником (*Agkistrodon piscivorous*). И нашли интересное решение. Они предложили использовать простое, но, как оказалось, весьма эффективное приспособление —

полиэтиленовые трубки длиной 60 см и диаметром 4.2 см, которые с обоих концов плотно закрываются надежными крышками с отверстиями для доступа воздуха и воды.

Голову пойманного щитомордника направляют в отверстие трубки. Он, естественно, туда устремляется. Как только его передняя часть оказывается внутри, щитомордник уже никак не достанет исследователя. Теперь можно спокойно с ним работать: определить пол (это делается по основанию хвоста), проверить или нанести метку и т. д. Затем змее позволяют полностью заползти в трубку и закрывают отверстие. Следующую змею помещают в следующую трубку и т. д. Для удобства транспортировки трубки собирают в батарею с помощью простого держателя с гнездами, в которых они и закрепляются. В таких контейнерах щитомордники без видимых последствий могли находиться до суток. За три года исследований герпетологи перенесли в этих своеобразных футлярах более 300 экземпляров щитомордника, причем отдельные особи претерпевали такую процедуру до 12 раз. И никаких травм ни у животных, ни у исследователей!

С иной проблемой столкнулись немецкие герпетологи из Университета Вюрцбурга. Они вели наблюдения за мраморной лягушкой-поросенком (*Hemisus marmoratus*) в западноафриканской Республике Кот-д'Ивуар (прежде — Берег Слоновой Кости). Выяснить особенности биологии этой лягушки особенно трудно, поскольку она ведет роющий образ жизни и практически не показывается на поверхности. Чтобы следить за ней, специалисты использовали радиотелеметрию. Однако при этом каждой лягушке надо вживить под кожу крошечный радиопередатчик. Дело в герпетологии уже обычное. Но здесь-то и возникла проблема. Мало того что сразу после операции лягушка зарывается в землю, где послеоперационные швы могут легко инфицироваться. Находясь в стрессе от операции, она

<sup>1</sup> Herpetological Review. 2004. V.35 (2). P.146—148, 153—154.

еще использует и свое коронное защитное оружие — сильно раздувает тело. И швы расходятся! Решение было найдено. Используя музейный (заспиртованный) экземпляр такой лягушки, герпетологи сделали из применяемого в стоматологии слепочного материала — альгинопласта — футляр, полость которого точно повторяет форму покоящейся особи. Футляр состоит из двух половинок и имеет отверстия для доступа воды и воздуха. Сразу после операции лягушку с имплантированным передатчиком помещали в этот футляр, где она не могла ни раздуться, ни совершать резких движений. За три дня пребывания в нем швы надежно срастались, и животное выпускали в природу. Такую операцию успешно провели с пятью особями, за которыми потом весьма плодотворно наблюдали в природе.

© Семенов Д.В.,

кандидат биологических наук  
Москва

## Микология

### Лишайники по желанию

Многие исследователи полагают, что симбиоз между грибом и водорослью в лишайнике мог неоднократно возникать и также неоднократно теряться в процессе эволюции грибов<sup>1</sup>. Тем не менее обычно считается, что гриб из лишайника не может полностью пройти жизненный цикл в отсутствие водоросли. По-видимому, из этого правила есть исключения.

Исследователи из Университета г.Умео (Швеция) установили, что три представителя рода *Stictis* (сумчатые грибы, порядок *Ostropales*) развиваются двумя способами: на обнаженной древесине осины они растут как типичные сапротрофы (организмы, питающиеся мертвой органикой), а на коре — в симбиозе с зелеными водорослями, т.е. образуют накипной лишайник (*Conotrema*)<sup>2</sup>. Судя

<sup>1</sup> Lutzoni F. et al. // Nature. 2001. V.411. P.937–940.

<sup>2</sup> Wedin M. et al. // New Phytologist. 2004. V.164. P.459–465.

по молекулярным данным, *Stictis* и *Conotrema* — не разные роды, а разные жизненные формы видов одного и того же рода.

Впервые показано, что представители одного и того же вида гриба могут развиваться по-разному в зависимости от наличия подходящей симбиотической водоросли и типа субстрата (коры или мертвой древесины осины). Это явление — замечательный пример пластичности, позволяющей грибам наиболее эффективно использовать субстрат.

Не исключено, что дальнейшее изучение механизмов возникновения факультативного (необязательного) симбиоза гриба и водоросли приведет к переоценке роли симбиоза в эволюции грибов и в освоении ими суши.

© Еськова А.К.,

Москва

## Этология

### Врожденные способности новокаледонских ворон

Новокаледонские вороны (*Corvus moneduloides*) — непревзойденные мастера в изготовлении и использовании орудий труда. По крайней мере среди птиц им нет равных<sup>3</sup>. Было бы естественно предположить, что молодые вороны приобретают навыки столь непростого мастерства в ходе обучения, наблюдая, как это делают их более опытные сородичи. Однако способности новокаледонских ворон оказались врожденными! Об этом свидетельствуют результаты опытов, проведенных группой исследователей из Оксфордского университета<sup>4</sup>.

Опыты были поставлены на четырех птенцах, выращенных в неволе. Ни один из них никогда не видел взрослых птиц. Два птенца выросли вместе и прошли курс обучения использованию инструментов у своих «приемных родителей»: люди показывали птенцам, как извлекать с помощью палочек

<sup>3</sup> Hunt G.R. // Nature. 1996. V.379. P.249–251.

<sup>4</sup> Hunt G.R. et al. // Nature. 2005. V.433. P.121.

кусочки пищи из щелей и отверстий. Два других птенца росли в одиночестве и никогда не видели, как можно использовать орудия труда. В итоге все четыре вороны научились применять палочки для извлечения пищи почти одновременно, в возрасте немногим более двух месяцев. На несколько дней раньше других этой техникой овладел один из птенцов-одиночек, никогда в жизни не видевших ничего подобного.

На тех же четырех птицах проверили способность необученных ворон сооружать орудия труда из листьев пандануса (*Pandanus*), которые используются для этой цели дикими воронами. В первый же день знакомства с такими листьями один из трехмесячных птенцов — необученный и выросший в одиночестве самец по кличке Корбо — изготовил качественный прутик длиной 13 см и немедленно испытал его, успешно извлекая еду из щелей. Три других птенца так и не научились делать из листьев пандануса орудия труда. У Корбо сделанные им приспособления отличались по форме от приспособлений, обычно используемых дикими воронами.

Таким образом, способность изготавливать и применять орудия труда у новокаледонских ворон врожденная. Обучение может лишь дополнять и видоизменять эти врожденные навыки.

Результаты экспериментов позволяют заподозрить наличие врожденных способностей и у других видов животных со сложным поведением, определенные черты которого кажутся на первый взгляд приобретенными в ходе обучения у владеющих мастерством сородичей.

© Петров П.Н.,

кандидат биологических наук  
Москва

## История науки. Экология

### Поллютанты на острове Росса

В 2001–2002 гг. американские и новозеландские экологи исследовали о.Росса, расположенный



в море Росса (Антарктика). В начале XX в. здесь были созданы базы первопроходцев Шестого континента: крупное деревянное здание первой экспедиции Р.Скотта на мысе Хат, дом Э.Шеклтона и его коллег на мысе Ройдс и жилище второй экспедиции Скотта на мысе Эванс с павильоном для изучения земного магнетизма. По окончании работ на острове остались запасы продовольствия, строительные материалы, металлические изделия, различные химикаты, краски, емкости с нефтепродуктами, большое количество асбеста<sup>1</sup>, а на базе Шеклтона — еще и автотягачи, впервые доставленные в Антарктиду для проведения дальних санных походов...

Сами здания в сухом и холодном климате прекрасно сохранились, но вышеперечисленные предметы и вещества (их общий список исчисляется тысячами) под воздействием абиотических факторов и уникальной микрофлоры сильно деформировались и стали источниками загрязнения природной среды. Например, возле строения на мысе Ройдс отмечено повышенное содержание свинца; у дома на мысе Эванс грунт обильно усеян асбестовой крошкой; повсеместно отмечены концентрации различных углеводородов, значительно превышающие ПДК. Их миграция по звеньям трофической цепи может неблагоприятно воздействовать на биоту материка.

Экологи предлагают ряд мер по очищению Антарктики от поллютантов и возвращению ее к первоначальной чистоте.

Polar Record. 2004. V.40. №213. P.143—151 (Великобритания).

## Геология

### В Мексиканском заливе извергался асфальт

Еще лет 30 назад американские геологи-поисковики обнаружили в южной глубинной части Мексиканского залива небольшие

<sup>1</sup> См. также: Генеральная уборка Антарктиды // Природа. 2002. №9. С.28.

выходы асфальта, но развития эти исследования не получили, поскольку нефти эти выходы не сулили. В 2004 г. акваторию детально изучала американо-германомексиканская экспедиция с борта немецкого научного судна «Sonne», принадлежащего Бременскому университету и выполнявшего международную программу «Окраины океана». Научным руководителем работ был И.Макдоналд (I.MacDonald; Техасский университет в Корпус-Кристи, США).

В районе подводных холмов Кампече, в 200 км к югу от ранее изученной акватории, на глубине 3 тыс. м были обнаружены многочисленные сильно рассеченные соляные купола, а также мощные напоминающие лаву потоки, образовавшие целые поля отвердевших асфальтов. Предполагают, что они вытекали на океаническое дно при температурах значительно более высоких, чем температура воды, которая сейчас составляет 4°C.

Холмы Кампече представляют собой соляные диапиры (приповерхностные магматические тела в форме перевернутой капли), вздымающиеся над эвапоритовыми породами, которые подстилают континентальный склон, где в разных местах содержатся крупные залежи нефти. Здесь же находятся многочисленные обломочные брекчи, возникшие, вероятно, при падении около п-ова Юкатан гигантского астероида, образовавшего подводный кратер Чиксулуб.

По первым спутниковым изображениям здешнего дна участники экспедиции построили подробную (57×87 км) батиметрическую карту. На ней хорошо различимы холмистые поля средней площадью 5×10 км<sup>2</sup> при перепаде высот от 450 до 800 м; крутизна склонов составляет от 10 до 20°.

Особенно информативным оказался сильно рассеченный холм (21°54'с.ш., 93°26'з.д.), получивший название Чапопоте. Его отличают мощные потоки отвердевших асфальтов, вытекших когда-то из расщелин грабена у его южной кромки. Один из потоков

полукольцевой формы имеет не менее 15 м ширины, другие же в основном прямолинейны, местами достигают более 20 м ширины. Внешне все они напоминают образования гавайских базальтовых лав. Общая поверхность асфальтовых потоков несколько превышает 1 км<sup>2</sup>.

Биологи, входившие в состав экспедиции, обнаружили, что окрестности холма Чапопоте населяют сообщества донных организмов, богатые по численности и разнообразию. Во многих местах асфальты покрыты белой бактериальной пленкой; распространены трубчатые черви (*Vestimentifera*); часто встречаются крупные двусторчатые моллюски, включая семейство *Vesicomylidae*, и моллюски *Bathymodiolus*. Среди местной фауны биологи отмечают также крабов и мелких креветок, некоторых рыб и беспозвоночных, не являющихся эндемиками. Криноиды (морские лилии) и мягкие кораллы охотно прикрепляются к асфальтовым «подушкам» на нижних склонах застывшего потока. Ученым удалось поднять на борт судна 75-килограммовый блок подводных асфальтов вместе со скоплением трубчатых червей и осадками, увенчивающими гребень холма. Обработка огромного массива данных продолжается.

Science. 2004. V.304. №5673. P.999 (США).

## Геофизика

### Статистика циклонов

Климатическая система Земли состоит главным образом из атмосферных вихрей: циклонов, несущих осадки, и антициклонов с длительной устойчивой погодой. По данным Европейского центра среднесуточных прогнозов, за период 1950—2000 гг. по территории, расположенной между 20° и 80°с.ш., только циклонов прошло свыше полумиллиона.

Региональные изменения климата, частота более или менее экстремальных событий — засух, наводнений, длительных периодов жары или холода — все это

непосредственно влияет на экономику страны, здоровье людей. Вот почему важно не только предвидеть риски от неблагоприятных явлений, но также не упускать возможности на базе прогнозов переориентировать, например, сельское хозяйство на культуры, более пригодные в условиях нового климата.

Группа сотрудников Института физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН и Института глобальной экологии и климата Росгидромета занимается выявлением экстремальных атмосферных образований, изучением их статистических свойств и распределения. Академику Г.С.Голицыну (Институт физики атмосферы РАН) на основе детального описания 18 полярных ураганов, пронесшихся над Данией в 1980—1990 гг., удалось, несмотря на кажущуюся скудость статистики, выявить ряд общих статистических закономерностей, присущих как тропическим, так и внетропическим циклонам, а также найти соотношение между размером вихря и его интенсивностью, которая измеряется падением давления в его центре.

Распределение этих 18 ураганов по энергиям отвечает экспоненциальному распределению Больцмана — это же было найдено Голицыным с соавторами для гораздо большего числа событий, что позволило осуществлять программу обработки данных по числу объектов уже порядка миллиона.

Все атмосферные вихри характеризуются прежде всего разностью давления в центре и на периферии. В средних и высоких широтах движение масс геострофично, т.е. хорошо уравнивается силой Кориолиса. Опуская используемый автором математический аппарат, приведем вытекающие из формул выводы.

Исходя из соображений размерности, площадь циклона можно оценить как функцию двух величин: дефицита давления в его центре и параметра Кориолиса. Та же оценка получена для геострофического приближения и со-

отношения Бернулли. На этой основе и определяется кинетическая энергия циклона. Распределение же числа циклонов по их кинетической энергии подчиняется, как отмечено выше, экспоненциальной статистике Больцмана. Результаты, полученные с помощью ретроспективного анализа данных Европейского центра среднесуточных прогнозов, дают значения коэффициента корреляции, близкие к 0.9 как для всего полумиллионного массива циклонов, так и для отдельных месяцев (50 января, 50 августа и т.д.).

Доклады Академии наук. 2005. Т.401. №1. С.72—74 (Россия).

### Сейсмология

#### Как противостоять землетрясениям?

С самым подземным толчком человечество не умеет и, надо полагать, не скоро научится бороться, но вот снижать уровень потерь от него становится все более доступным. Опыт показывает, что сильно землетрясение способно погубить и ранить сотни и даже тысячи человек, оставив без крова десятки тысяч. При этом местные больницы бывают повреждены настолько, что не могут принимать пострадавших, население остается без электричества, воды, пищи, газоснабжения, транспортная система рушится, возникают пожары и т.д. Даже в таких, с одной стороны, развитых, а с другой — сейсмоактивных регионах, как штат Калифорния или Японские о-ва, где давно уже ведется сейсмостойкое строительство, оценки потерь от неизбежных толчков невероятно высоки.

Американские специалисты считают, что в районе Хайуордского разлома земной коры, проходящего вблизи Сан-Франциско, вероятность мощного землетрясения до 2031 г. составляет 25%. Если его магнитуда достигнет 6.7 по шкале Рихтера (что не является абсолютным максимумом), оно, полагают исследователи, унесет от 3 до 8 тыс. человечес-

ких жизней и только прямых убытков причинит на сумму от 170 до 225 млрд долл. В случае повторения событий, происшедших в пригороде Токио — Канто в 1923 г., когда магнитуда составила 8 баллов по шкале Рихтера, с жизнью расстанутся приблизительно 60 тыс. человек, а ущерб превысит 2 трлн долл. США. Согласно официальным оценкам, прямые убытки от сейсмических явлений в США составляют в наше время не менее 4.4 млрд долл. в год.

Чтобы уменьшить последствия таких трагических событий, ныне уже имеются достаточные возможности: это и составление точных локальных карт с указанием степени риска для каждой местности, и разработка совершенных правил сейсмостойкого строительства, и создание новых систем и материалов для такого строительства, реконструкция и укрепление старых сооружений и т.п. Однако, как отмечает ведущий эксперт в этой области У.Лейт (W.Leith; Геологическое управление США в Боулдере), первичные данные, описывающие характер поведения зданий и сооружений при возникновении предельных нагрузок, а также результаты их анализа весьма скудны и часто субъективны. Использование лабораторных данных затруднено из-за недостаточного понимания процесса взаимовлияния почв и сооружений, особенно в случаях возбуждения высокочастотных колебаний.

Специалисты считают необходимым организовать широчайший сбор реальной информации о подвижках земной поверхности, о накапливаемом в недрах напряжении, смещении пластов земной коры в сейсмоактивных областях — и только тогда появится возможность строить правдоподобные модели грядущего события и принимать решения о том, какого типа здания допустимо возводить или восстанавливать в каждой конкретной местности.

Шаг в нужном направлении сделан в США. Геологическое уп-

равление и его национальная сейсмическая система начали широкую модернизацию и расширение сети наблюдений; только в крупных городах и пригородах предстоит задействовать около 6 тыс. сейсмостанций данной сети. Помимо этого, Национальный научный фонд США создает свою систему NEES (Network for Earthquake Engineering Simulation — Сеть моделирования инженерной сейсмологии), цель которой состоит в анализе данных о колебаниях земной поверхности и связанном с ними поведении различных сооружений и объектов инфраструктуры. На специальных слушаниях, проведенных недавно в Конгрессе США, была утверждена Национальная программа сокращения опасности от землетрясений. По плану, составленному Институтом изучения проблем инженерной сейсмологии, предлагалось более чем вдвое повысить государственные ассигнования на эту программу. Но реально за истекшие четыре года выделена лишь десятая часть необходимых средств.

Американские ученые с горечью приводят в пример Японию, где после страшного землетрясения 1995 г. в Кобе (о.Хоккайдо) средства на регистрацию событий и анализ данных были доведены правительством до 1 млрд долл. Хотя площадь Японских о-вов и штата Калифорния вполне сопоставимы, в Стране восходящего солнца насчитывается вдесятеро больше сейсмостанций, регистрирующих сильные смещения земной коры; существует там и Национальная сеть прогноза и предупреждения о возможных подземных толчках.

Сейсмологи США провели анализ событий, связанных с организованным террористами в 1995 г. взрывом административного здания в г.Оклахома-сити. В известной мере его можно уподобить естественному землетрясению, причем сила первоначального толчка, его гипоцентр и другие параметры было несложно определить по

количеству и свойствам заложенной преступником взрывчатки. По заключению специалистов, число жертв и размеры разрушений могли бы оказаться куда меньшими, если бы здание возводилось с учетом правил сейсмостойкого строительства. К 2010 г. объем строительства новых зданий и сооружений в США достигнет, по оценкам, 1 трлн долл. в год. Сейсмологи подчеркивают, что сравнительно небольшие затраты, учитывающие опасность землетрясений, привели бы к весьма значительной экономии таких средств в случае неизбежных стихийных бедствий.

Science. 2004. V.304. №5677. P.1604 (США).

### Гидрография

#### «Почему бы нет?»

14 октября 2004 г. на французской верфи в г.Сент-Назер состоялась торжественная церемония присвоения имени новому строящемуся гидрографическому судну «Pourquoi-Pas?» («Почему бы нет?» — фр.). Это судно длиной 105 м будет нести на борту два глубоководных аппарата и два гидрографических катера. Общая площадь лабораторных помещений составит 950 м<sup>2</sup>, в них сможет работать 40 специалистов. На «Pourquoi-Pas?» будут проводиться исследования по совместным программам военно-морского флота Франции и Французского института по исследованию Мирового океана (Institut Francais de Recherche pour l'Exploitation des Mers — IFREMER).

Присвоение новому крупнотоннажному судну имени «Pourquoi-Pas?» — дань глубокого уважения мореведческой обществу Франции к заслугам видного гидрографа Ж.-Б.Шарко (J.-B.Charcot), проводившего гидрографические съемки у берегов Антарктиды и Северной Атлантики в первой трети XX в. Три яхты, на которых он работал в разные годы, носили одинаковые имена — «Pourquoi-Pas?».

Решением Международной гидрографической организации в период проведения работ по программам Международного полярного года 2007/2008 будут выполнены гидрографические съемки западных берегов Антарктического п-ова, пионером исследования которых (1908—1910) был Шарко, что еще раз станет признанием его заслуг.

Hydro International. 2005. V.9. E2. P.10—11 (Нидерланды).

### Археология

#### От руин древнего курорта — к музею

Как всем известно, 24 августа 79 г. н.э. извержение Везувия уничтожило стоявшие у подножия вулкана города Помпеи и Геркуланум. Одновременно с лица Земли был стерт приморский курортный городок Стабии — горстка роскошных вилл, где любили отдыхать придворные императоров и богачи древнего Рима.

Хранившиеся под слоями пепла библиотеки, мозаики и другие художественные ценности и изысканная домашняя утварь не могли не привлечь внимание специалистов — историков и археологов, начавших работать здесь еще в XVIII в.

Ныне на руинах г.Стабии уже более шести лет совместно ведут раскопки ученые Римского университета и Мэрилендской школы архитектуры (США). Ими поставлена задача создать на этом месте крупный археологический парк, который служил бы целям и науки, и международного туризма.

Уже сегодня вскрытые предметы древней истории, археологии, культуры, латинской мифологии стали доступны для всеобщего обозрения на временной выставке, открытой в мае 2004 г. в стенах Смитсоновского института в Вашингтоне. Выставка пользуется мировой популярностью. По ее завершении все экспонаты вернутся в Италию.

Science. 2004. V.304. №5672. P.820 (США).



# «Описание обитаемого нами земного шара»

В.В.Глушков,

доктор географических наук

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

Монография В.А.Есакова приурочена к 250-летию Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова и посвящена созданию университетской географической школы в период 1755—1938 гг.

В год своего 80-летия Василий Алексеевич Есаков — почетный член Русского географического общества, доктор географических наук, профессор — выпустил новую монографию, посвященную своей alma mater. В МГУ он поступил еще во время Великой Отечественной войны, воевал под Ленинградом, участвовал в прорыве блокады. Весной 1943 г. был тяжело ранен: частичная потеря зрения, ампутация правой руки, инвалидность. Вопреки всему, в 48-м он становится аспирантом кафедры истории географии.

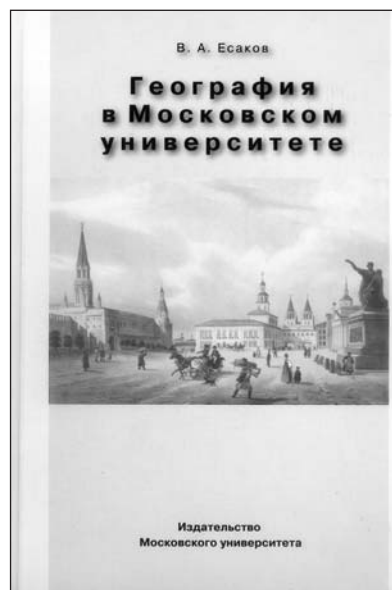
На избранном поприще Василий Алексеевич вырос в крупного ученого, получил заслуженное международное признание. 60-летие Победы он встретил в строю ветеранов на Красной площади.

Выводы автора рецензируемой книги базируются на малоизвестных и неизвестных материалах, хранящихся в фондах Государственного исторического музея в Москве и Московской обл., отдела рукописей Российской государственной библиотеки, архива МГУ, Центрального

государственного исторического архива в Санкт-Петербурге, а также на монографиях, учебниках и исторических очерках, изданных в России во второй половине XVIII — начале XXI в., на ранних научных работах автора.

Узкие рамки рецензии не позволяют подробно осветить все проблемы, нашедшие отражение в монографии, поэтому здесь мы остановимся только на кратком анализе истории становления и развития университетской географии в период от середины XVIII до конца XIX в., а также на отдельных персоналиях, трудами которых география заняла достойное место среди других научных дисциплин.

Первым среди равных можно назвать Х.А.Чеботарева (1746—1815) — выпускника философского факультета Московского университета, ставшего в 1803 г. ректором университета. Еще в ранний период своей педагогической деятельности он написал книгу «Географическое методическое описание Российской империи с надлежащим введением к основательному познанию земного шара и Европы» (1776), которая, «будучи образцовою <...> в своем роде», служила долгие годы учебником по географии в университете и других учебных заведениях России. В ней, пожалуй, впервые были определены задачи географии, дано «разделение» ее «по пред-



**В.А.Есаков. ГЕОГРАФИЯ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (ОТ ОСНОВАНИЯ ДО ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА: 1755—1938) / Отв. ред. Н.С.Касимов.**

М.: Изд-во МГУ, 2004. 184 с.

мету» на математическую, физическую и историческую, «по времени» — древнюю, среднюю и новую, «по обширности» — на всеобщую, частную и особенную (топографию). «География, — писал Чеботарев, — есть описание обитаемого нами земного шара, купно с его жителями».

Основной и наиболее ценной частью книги, по мнению Есакова, служит глава «География России». В ней дана полная картина и подробное описание губерний Российской империи, населяющих их народов и их быта, значительное место уделено азиатской части России и северным землям.

С 1799 г. географию и историю в Московском университете читал Н.Е.Черепанов (1762—1823) — профессор всемирной истории, статистики и географии, декан отделения словесных наук. В 1792—1793 гг. он написал книгу «Историко-географическое учение» в двух частях — учебное пособие для студентов, в котором рассмотрел и теоретические вопросы географической науки. Так, географию автор относил уже к наукам естественно-социальным. Объектом ее изучения он считал естественное состояние Земли и общественно-экономическую жизнь народов.

«География, или землеописание, — писал Черепанов, — есть основательное описание земли в рассуждении естественного качества и общественного устройства народов на лице земном». При этом география, по его мнению, должна изучать составные части земного шара вместе с окружающей его атмосферой и в тесной связи с космографией (мироописанием). В первой части своей книги он впервые дал деление географии на физическую географию («описание органической и неорганической природы»), гидрологию («описание в рассуждении воды») и климатологию («описание в рассуждении воздуха»).

Вторая часть была посвящена вопросам методологии на-

уки и истории древнего мира. Указывая на непрерывность изменений земной поверхности во времени, Черепанов различал изменения, «производимые самой природой», и изменения, производимые деятельностью человека. По его мнению, географическую среду, в которой живет человек, можно и должно изменять. Эти идеи были созвучны с идеями М.В.Ломоносова.

Оценивая труды Чеботарева и Черепанова, профессор Есаков отмечает их высокую значимость для географии конца XVIII — начала XIX в. Если первый создал образцовое учебное пособие и придерживался традиционного страноведческого направления, то второй выступил, прежде всего, как методолог-теоретик.

По университетскому уставу, утвержденному в 1804 г., преподавание географии и статистики должно было осуществляться на двух вновь созданных кафедрах: кафедре всемирной истории, статистики и географии и кафедре истории, статистики и географии Российского государства. С того времени география и статистика становятся обязательными предметами преподавания в Московском университете. Однако полных и систематических курсов этих дисциплин в университете не было, да и читать их было некому. Они продолжали оставаться придатком истории, а часто и подменяли одна другую.

Естественно-историческое (природоведческое) направление географии в первые десятилетия XIX в. развивалось в системе естественных наук на физико-математическом отделении философского факультета. Здесь были представлены родственные физической географии кафедры и читались те курсы, которые составляли начальные основы ее содержания: физика, геодезия, ботаника, зоология и минералогия.

Одним из ярких представителей природоведческого направ-

ления географии был И.А.Двигубский (1771—1839) — выпускник медицинского факультета Московского университета, серьезно увлекавшийся естественными науками, а позже декан физико-математического отделения, проректор и ректор университета. В молодые годы он преподавал физику в университете и Благородном пансионе, занимался научными исследованиями в области зоологии. В 1802 г. получил докторскую степень за описание подмосковной фауны, затем стажировался в Геттингене, Париже и Вене в «натуральной истории и химии». В его ранней работе «Слово о нынешнем состоянии земной поверхности» (1806) были отражены и развиты идеи Ломоносова об эволюции суши, происхождении и генезисе рельефа. Этот труд профессор Есаков считает выдающимся, особенно по части геоморфологии. Высказанные Двигубским идеи способствовали развитию физической географии, а некоторые из них не утратили своего значения и в настоящее время.

В зрелые годы, будучи первым русским автором оригинальных учебников по естествознанию, а также физиком, ботаником, зоологом и палеонтологом, Двигубский провел серьезную терминологическую работу, дал классификацию наук, исходя из того, что естествознание, или «физика в обширном смысле», подразделяется на ряд дисциплин (астрономию, физическую географию, естественную историю, химию и физику), тесно связанных между собой.

В 1852 г. профессор политической экономии и статистики И.В.Вернадский — отец академика Владимира Ивановича Вернадского — в своей работе «Задачи статистики» дал определение географии и привел различие между географией и статистикой по предмету, т.е. по существу, на что многие ученые не обращали внимание, считая их почти равнозначными. «География имеет предметом, — писал

он, — известные проявления и влияние законов местности, или просто есть изложение законов местности; статистика исследует законы общества. Для этого география описывает почву, вид страны, статистика — общество, в ней существующее. Следовательно, география описывает внешность в возможных ее видоизменениях и рассматривает возможные влияния как на нее, так и ее самой на население и т. д., ища в этих явлениях последовательности, связи и естественной законности. Статистика ищет и излагает законы общества и, следовательно, имеет предметом круг видоизменений последнего и постороннего на него влияний». Эти идеи нашли поддержку ряда видных ученых, в том числе П.И.Кеплена и Д.И.Менделеева, однако не получили дальнейшего развития в Московском университете.

Во второй половине XIX в. разработчиком многих отраслей естествознания был академик Д.М.Перевощиков (1790—1880) — математик, астроном и естествоиспытатель. Его научная деятельность, связанная с Московским университетом, сначала в качестве преподавателя математики, профессора астрономии, а затем декана 2-го отделения философского факультета, проректора и ректора, была исключительно плодотворной. Его работы по физической географии и математической картографии отличались оригинальностью и новизной методов исследования. Например, в 1833 г. при его непосредственном участии и под его руководством магистр Н.Е.Зернов определил общую площадь Российской империи, которая составила 16 207 033 кв. версты (17 289 663 км<sup>2</sup>). В основу этой работы были положены «Генеральная карта» Азиатской России (1825) и «Почтовая карта» европейской части России (1827) — лучшие географические карты того времени.

По университетскому уставу, принятому в 1863 г., кафедра

физики и физической географии на физико-математическом факультете была разделена на две самостоятельные кафедры: физики и физической географии. Последнюю возглавил А.Г.Столетов (1839—1896) — выпускник физико-математического факультета Московского университета, в будущем выдающийся физик. Его усилиями кафедра была превращена в кафедру математической физики и физической географии. Физическая география Столетова интересовала мало, он не чувствовал к ней большого призвания, рассматривая в своих курсах развитие основ метеорологии, «выставляя всегда на первый план физические основы учения».

Этой же точки зрения придерживались и его ученики, например, Н.А.Зворыкин, написавший для студентов «Лекции по физической географии» (1885), рекомендованные для изучения курсов физической и общей географии. «Физическая география, — писал автор во введении, — занимается изучением физических явлений, имеющих место на Земле, т.е. явлений теплоты, магнетизма, электричества, явлений движения в атмосфере, а также явлений вулканизма, колебаний почвы и других, находящихся с упомянутыми явлениями в более или менее тесной связи».

По оценке Есакова, физическая география в указанный период была скорее геофизикой. Подтверждением служит то, что для получения степени магистра и доктора физической географии требовалось держать экзамены по метеорологии, земному магнетизму, электрическим и оптическим явлениям в атмосфере, физике с механической теорией теплоты.

После принятия нового устава (1884) в университете была открыта кафедра географии и этнографии. Ее возглавил Д.Н.Анучин (1843—1923) — выдающийся географ, антрополог, этнограф и археолог. Будучи вы-

пускником физико-математического факультета, он первоначально занимался исследованиями в области зоологии, затем обучался в Сорбонне, Берлинском и Лейпцигском университетах, изучал антропологию и этнографию. В 1880 г. защитил магистерскую диссертацию, был избран доцентом по кафедре антропологии. В 1889 г. за научные труды в области географии и антропологии ему была присуждена ученая степень доктора географии. Позже он был избран почетным членом Академии наук, а также многих русских и зарубежных ученых обществ.

Одной из первых инициатив Анучина стало его предложение о переводе кафедры географии и этнографии с историко-филологического на физико-математический факультет, поскольку «география <...>, — писал он, — это наука естественная <...>, плодотворное занятие ею требует не только знакомства с физикой, но и с естественными науками (геологией, биологией); прогресс в разработке ее отдельных отраслей — климатологии, гидрографии, орологии, биологической географии, картографии, даже хорографии — может обуславливаться главным образом трудами натуралистов и математиков, прилагающих к изучению явлений и форм наблюдения, опыт и вычисление, т. е. пользующихся всеми общепринятыми в естествознании методами и способами исследования». Большое значение для развития географии в университете имели созданные Анучиным научно-вспомогательные учреждения — географический кабинет и географический музей.

Таковы, собственно, основные этапы становления и развития отечественной университетской географии (середина XVIII — конец XIX в.), что стало теперь общеизвестно благодаря выходу в свет новой интересной книги профессора Есакова. На наш взгляд, эта работа должна быть продолжена и ее временные рамки расширены. ■



## Зоология

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОДЕКС ЗООЛОГИЧЕСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ. Пер. с англ. и фр. И.М.Кержнера; Ред. пер. А.П.Андрияшев, Я.И.Старобогатов. 4-е изд. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 223 с.

Новое издание Международного кодекса зоологической номенклатуры, опубликованное на английском и французском языках, вступило в силу с января 2000 г.; теперь переведено и на русский. Как и у всех предшествующих, его основная цель — обеспечить максимальную универсальность и преемственность научных названий. Этот справочник — настольная книга для зоологов, занимающихся систематикой всех групп животных как настоящих, так и ископаемых, поскольку содержит полный перевод на русский язык современных правил зоологической номенклатуры.

Используя Кодекс, зоолог может определить валидное название таксона, к которому относится животное, на любом уровне в иерархии вид—род—семейство. Кодекс лишь отчасти регулирует названия таксонов выше уровня группы семейства и не содержит правил для использования ниже ранга подвида.

## Энтомология

**Е.Б.Виноградова.** ГОРОДСКИЕ КОМАРЫ, ИЛИ «ДЕТИ ПОДЗЕМЕЛЬЯ». Вып.2. М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 96 с. (Из сер. «Разнообразие животных».)

Первый выпуск из серии «Разнообразие животных», инициатором которой стал Зоологический институт РАН, вышел в 2003 г. и называется «Гидра: от Абраама Трамбле до наших дней» (рецензию см.:

Природа.2004.№7). Второй выпуск этой серии посвящен городским комарам, но начинается книга с небольшого экскурса в мир всех известных комаров. Приведены сведения об их разнообразии, экологии, биологии, а также вызываемых ими болезнях. Автор в популярной форме рассказывает о распространении городских комаров на территории России, жизненном цикле, приспособлениях к обитанию в подвальных помещениях и эпидемиологическом значении. Описаны методы профилактики и борьбы с этими насекомыми, применяемые препараты и способы индивидуальной защиты людей. Способность городских комаров размножаться в подвалах и развитие устойчивости к применяемым ядохимикатам чрезвычайно затрудняют борьбу с ними, а проводимые обработки зачастую не достигают желаемой цели.

Автор не новичок в популяризации: в 2004 г. Е.Б.Виноградова стала лауреатом конкурса, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований. На написание этой книги ее подвигли многочисленные публикации в периодической печати, не всегда содержащие правдивую информацию о любимом объекте исследований.

## История науки

**Е.Ф.Бурштейн.** ШАНГИНЫ — ИССЛЕДОВАТЕЛИ ЮЖНОЙ СИБИРИ И КАЗАХСКИХ СТЕПЕЙ. Отв. ред. Е.Е.Милановский. М.: Наука, 2004. 230 с. (Из сер. «Научно-биографическая литература».)

С фамилией Шангины ассоциируется слово «первый»: первооткрыватель месторождений и целой рудной провинции, основатель первого за Уралом ботанического сада, первый ко-

ренной сибиряк, избранный в Академию наук, и первые специалисты с высшим горно-техническим образованием, подготовленные в России.

Первую попытку охарактеризовать семейство Шангиных предпринял в 1894 г. краевед И.Я.Словцов в газете «Тобольские губернские ведомости» на основе попавших к нему нескольких документов, включая рукопись дневника путешествия П.И.Шангина в Горный Алтай. Статьи в новейшей «Энциклопедии Алтайского края» содержат мало нового, но повторяют ряд старых ошибок. Достоверные сведения о Шангиных рассеяны по кривицам в десятках документов и публикаций. Их скудость усугубляется тем, что Шангиных нередко упоминали лишь по фамилии, чину или званию. Между тем в двух поколениях семейства было три медика, заслуживших звание штаб-лекаря, двое из которых стали известными ботаниками-коллекторами, и семь горных офицеров (горное дело включало также геогнозию, минералогию, поиски и разведку месторождений). Все это стало причиной путаницы, связанной с Шангиными и поныне затрудняющей их идентификацию.

В книге собраны научные биографии представителей алтайского семейства Шангиных (конец XVIII — начало XIX в.) — члена-корреспондента Петербургской академии наук Петра Ивановича Шангина и его сыновей Ивана и Александра, братьев Семена и Никиты Шангиных, исследователей геологии, географии, флоры, полезных ископаемых Горного и Юго-Западного Алтая, Салаира, Кузнецкого Алатау, Западного Саяна, Казахских степей. Описана история создания системы среднего и высшего горно-геологического образования.

# Балтийский «Варяг»

В.Н.Краснов,

кандидат военно-морских наук

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

В 1904 г. русский крейсер «Варяг» героически сражался с японской эскадрой, но под угрозой захвата противником был затоплен командой. Спустя 10 лет канонерская лодка «Сивуч» совершила аналогичный подвиг в Рижском заливе, вписав славную страницу в героическую летопись русского флота.

19 августа 1915 г. в Прибалтике был ясный и безоблачный день. Зеркальная гладь Рижского залива ослепительно блестела в лучах летнего солнца. За кормой корабля тянулся длинный искрящийся след.

Командир канонерской лодки «Сивуч» капитан 2-го ранга Н.П.Черкасов знал, что этот поход будет трудным, а может быть, и последним. На горизонте вот-вот могла появиться германская эскадра, которая накануне прорвалась через Ирбенский пролив, чтобы содействовать сухопутным войскам в овладении Ригой.

Встреча с эскадрой означала тяжелый неравный бой. Что могли сделать две канонерские лодки (в кильватер за «Сивучем» следовал однотипный «Кореец») против линейных кораблей, крейсеров и миноносцев? Мощи артиллерийского огня канонерской лодки хватало в лучшем случае на поединок с миноносцем, но и этот корабль был сильным противником. Ведь кроме артиллерии миноносец

располагал мощным торпедным оружием. Спущенные на воду в 1907 г. канонерские лодки имели водоизмещение около 1000 т и были вооружены двумя 120-миллиметровыми и четырьмя 75-миллиметровыми орудиями. В случае обнаружения противником на уклонение от боя и отрыв рассчитывать нельзя. Канонерские лодки были тихоходными, их скорость не превышала 12 узлов.

День прошел относительно спокойно. Однако на лицах офицеров и матросов нельзя было не заметить настороженности и тревоги в предчувствии грозных событий.

Успокаивало то, что до похода экипаж успел обстреляться. Несколько раз канонерская лодка совершала огневые налеты на прибрежные позиции немцев, чем заслужила благодарность и даже восхищение офицеров и солдат 12 армии, оборонявшей Ригу.

«Командиру. Стрельба была поразительно точна, покорно благодарим славных моряков за помощь. Полковник Меликов», — не раз корабль получал такие благодарственные телеграммы и семафоры с берега.

В один из налетов канонерская лодка попала под перекрестный обстрел нескольких немецких батарей, и ей удалось благополучно уйти лишь благодаря искусному маневрированию. Сложные зигзаги, которыми уходила лодка, не давали возможности точно пристреляться.

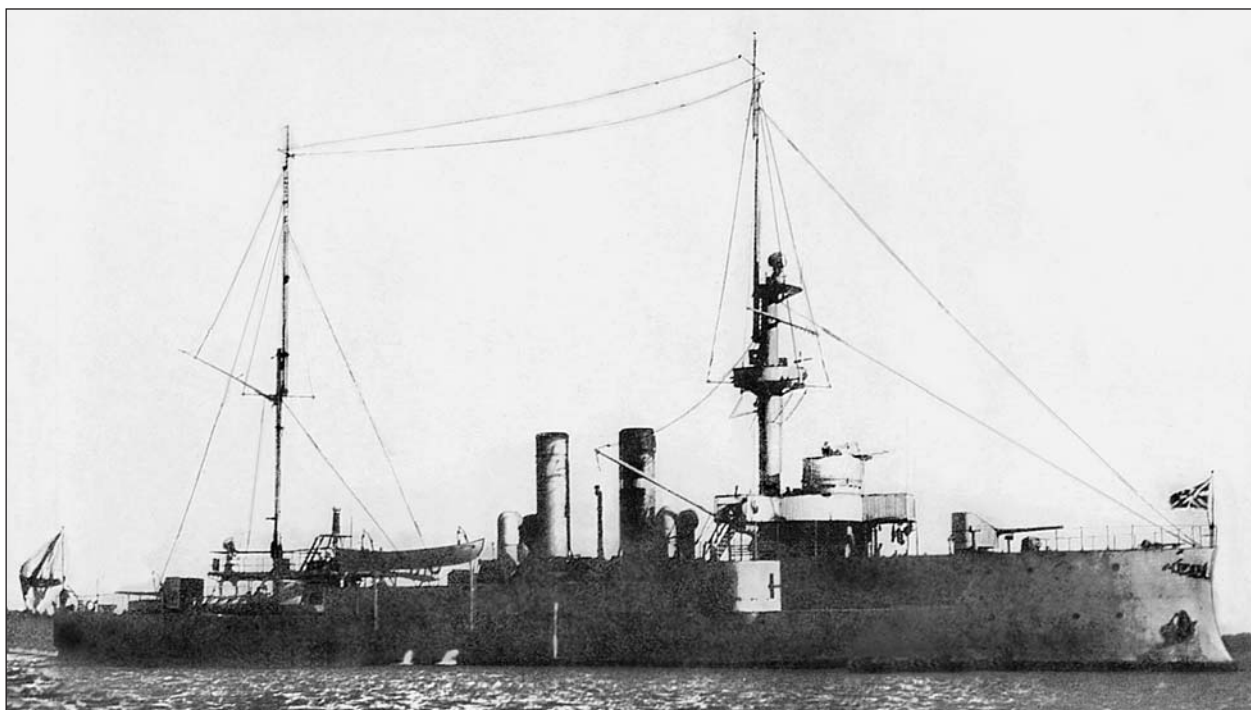
Сам командир Черкасов имел за плечами немалый опыт морских боев в русско-японскую войну. В Порт-Артуре он служил на миноносце «Властный», в результате минной атаки которого был потоплен японский миноносец. Последний период обороны Порт-Артура занимал должность старшего офицера на броненосце «Севастополь». В ту войну он был награжден несколькими орденами.

Теперь Балтика, война с Германией. Службу на этом флоте Черкасов начал сразу командиром «Сивуча». Долгое время канонерская лодка несла дозорную службу в Оландских шхерах. В июле 1915 г. корабль перешел в Усть-Двинск, в 18 км от Риги.

С появлением в Рижском заливе сильной немецкой эскадры, состоящей из двух линейных кораблей, четырех крейсеров и нескольких десятков эскадренных миноносцев и тральщиков, малочисленные русские морские силы в заливе оказались в крайне опасном положении. Командование Балтийским флотом приняло решение срочно перебазировать корабли из залива в Моонзунд, где был создан новый рубеж обороны.

Основная часть кораблей успела перейти в Моонзунд 17–18 августа. Канонерские лодки «Сивуч» и «Кореец» задержались в заливе с постановкой мин у Усть-Двинска и начали переход только 19-го утром.

Оставалось совсем немного, всего несколько часов, и обе ка-



Канонерская лодка «Сивуч». 1907 г.

нонерские лодки должны были войти под прикрытие своих береговых батарей и минных заграждений. С юга эту позицию усиливали подводные лодки «Минога» и «Макрель». Однако судьба распорядилась иначе. На горизонте показался силуэт трехтрубного корабля. Смутно мелькнула надежда, что это не неприятельский крейсер, а свой минный заградитель «Амур», поставивший себе для маскировки третью фальшивую трубу.

Расстояние быстро уменьшалось. В лучах заходящего солнца были видны силуэты людей на палубе корабля. Теперь не оставалось никаких сомнений в том, что это немецкий крейсер «Аугсбург». Канонерская лодка повернула вправо и дала самый полный ход. Но было ясно, что оторваться от противника невозможно.

«Передать сигнал на «Корец», вступаем в бой», — командовал командир «Сивуча». Он был флагманом. На стенге корабля взвился боевой Андреевский флаг.

Экипаж занял место по боевому расписанию. Матросы замерли у орудий, установив прицелы по команде артиллерийского офицера.

Первый залп крейсера лег в сотне метров с правого борта «Сивуча». После нескольких залпов, крейсер внезапно прекратил стрельбу, оказавшись за кормой канонерские лодки. Затем он перешел на правый борт кораблей, сблизился, и снова начал стрельбу. Канонерские лодки открыли ответный огонь всеми орудиями.

После захода солнца быстро стемнело, и пользоваться дальномером стало невозможно.

Управляющему огнем приходилось определять дистанцию до крейсера на глаз. Но делать это было нетрудно, так как расстояние не превышало нескольких кабельтовых.

Крейсер стрелял всем бортом, периодически с него взлетала осветительная ракета. Как только она гасла, вспыхивал луч прожектора, освещавшего канонерские лодки, и крейсер выпу-

скал очередной залп. Со стороны картина могла показаться красивым волшебным фейерверком.

На самом деле это был настоящий ад. С обеих сторон появились убитые и раненые. Вспыхивали пожары, из-за пробоев в бортах в корабельные помещения стала поступать вода.

Русские артиллеристы работали виртуозно: и при ослепительном свете ракеты, и в полной темноте матросы с невероятной быстротой подавали патроны, заряжали пушки и стреляли. На палубе скопилась куча стреляных гильз...

Крейсер сосредоточил весь огонь на «Сивуче» как на головном корабле. Море кипело от леса всплесков, окружающих корабль со всех сторон. Но что удивительно, теперь лица офицеров и матросов выражали спокойствие и сосредоточенность. Неравный поединок не приводил их в отчаяние. Было видно, что каждый готов умереть, но до конца выполнить свой долг. Слышалось: «Умрем,



братцы, но не посрамим русско-го флота».

Неожиданно из-за крейсера показались два миноносца, которые атаковали торпедами «Сивуч». Черкасов приказал перенести огонь на миноносцы. Через минуту один из них запылал и, охваченный огнем, быстро затонул. Другой миноносец поспешно удалился.

Огонь канонерских лодок был вновь устремлен на крейсер.

От попаданий снарядов начался пожар, была разрушена боевая рубка.

Однако доставалось и канонерским лодкам. «Сивуч» получил несколько пробоин в машинных отделениях. Аварийные группы по борьбе с огнем и водой самоотверженно боролись за корабль. На «Корейце» была повреждена мачта.

Вдруг на крейсере погас прожектор. В него попал снаряд. Выведен из строя командный пункт корабля. Крейсер стал отходить.

В темноте канонерская лодка «Кореец» отделилась от «Сивуча». Впоследствии она была выброшена на мель и была взорвана экипажем, чтобы ее не захватили немцы.

«Сивуч» продолжал бой один. Положение стало трагическим, когда на помощь крейсеру подошли два линейных корабля «Позен» и «Нассау» в сопровождении нескольких миноносцев. Почти в упор, с расстояния 200 саженей, они засыпали снарядами яростно отстреливавшийся «Сивуч».

От бесчисленных пробоин внутренние помещения канонерской лодки заполнились водой, все горело. Среди команды было много убитых и раненых.

Корабль потерял ход. Прошло еще несколько минут, и он стал медленно погружаться. Но и погружаясь в морскую пучину, «Сивуч» продолжал стрелять по врагу из всех четырех орудий.

С песней «Врагу не сдается наш гордый «Варяг»» экипаж «Сивуча» принял героическую смерть. По немецким данным, из экипажа канонерской лодки было спасено 2 офицера и более 30 нижних чинов.

Потери, понесенные противником в период прорыва и боевых действий в Рижском заливе, заставили командующего германской эскадрой вице-адмирала Шмидта свернуть операции в этом районе, и 21 августа 1915 г. эскадра покинула залив.

Был надолго выведен из строя крейсер, потоплен миноносец. Дорогой ценой досталась немцам гибель канонерских лодок. ■

## Литература

1. *Бережной С.С.* Линейные и броненосные корабли. Канонерские лодки. М., 1997.
2. *Гречанюк Н.М. и др.* Дважды Краснознаменный Балтийский флот. М., 1997.
3. *Краснов В.Н.* Гордый «Сивуч» // Страж Балтики. 4 сентября 1965 г.
4. *Шалагин Б.Л.* // Армия и флот. 2001. №4—5.
5. Морской сборник. 1915. №10.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

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

Литературный редактор  
**С.В.ЧУДОВ**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**С.В.ЧУДОВ**

Набор:  
**Е.Е.ЖУКОВА**

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

Графика, верстка:  
**Д.А.БРАГИН**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

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

Адрес редакции: 119991,  
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33  
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 14.06.2005  
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 416  
Набрано и сверстано в редакции

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