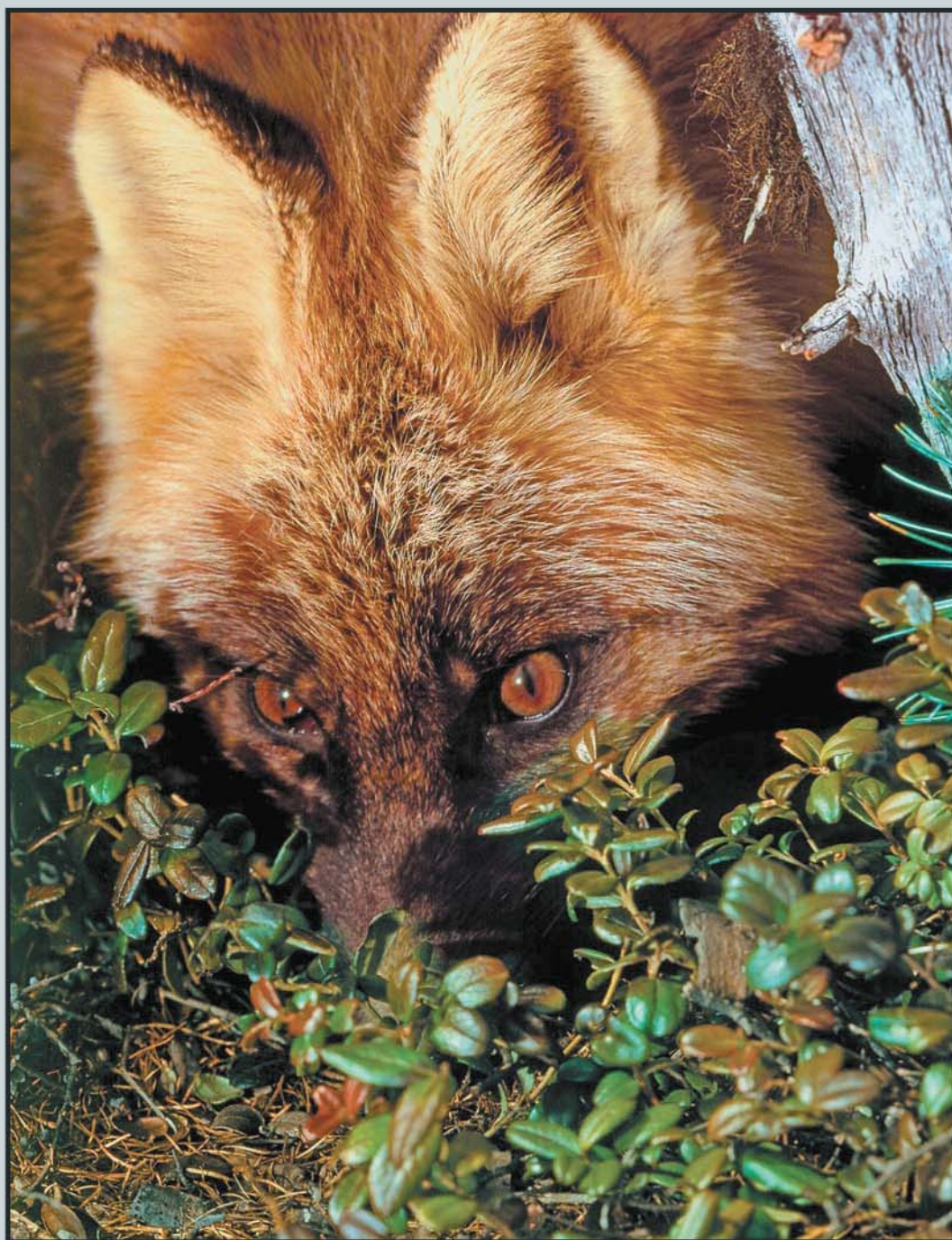


ПРИРОДА

1 10



В НОМЕРЕ:**3 Герштейн С.С.****От бета-сил к универсальному взаимодействию**

История открытия нового вида сил в Природе — слабого взаимодействия — наглядно показывает, как благодаря ошибкам и прозрениям выдающихся ученых из решения частных проблем рождаются общие представления.

15 Леменовский Д.А., Шемаханская М.С., Брусова Г.П.**Воскресить ушедшие эпохи**

Многие приемы реставрации археологических предметов из металла, к сожалению, не лишены недостатков. Поэтому разрабатываются новые, более совершенные и универсальные способы, основанные на современных достижениях физики и химии.

22 Павлова С.В., Шевченко А.И., Закиян С.М.**Равенство полов по X-хромосоме**

Как известно, у самок млекопитающих генов X-хромосом в два раза больше, чем у самцов. Такое неравенство устраняется тем, что одна из X-хромосом выключается.

29 Кречмар А.В.**Под защитой сильного соседа**

В Арктике и Субарктике большинство видов птиц гнездится на земле или невысоко над ней, поэтому их гнезда легко доступны хищникам. Чтобы выжить и успешно размножиться, птицы прибегают к разным, порой весьма изощренным способам.

37 Томилин М.Г.**Пламенеющие опалы Австралии**

Зеленый континент знаменит своими уникальными благородными опалами, характерная особенность которых — радужное свечение (опалесценция).

44 Величко А.А., Васильев С.А., Грибченко Ю.Н., Куренкова Е.И.**Человек проникает на Север**

Человек появился в высоких широтах севера Евразии 35–25 тыс. лет назад. Однако активное освоение Севера произошло 12–11 тыс. лет назад. Тогда же человек перешел через Берингийский «мост» в Западное полушарие и устремился на юг.

56 Рыжиков А.И.**Озеро Ендовице****О чем писала «Природа»****61****Новая рубрика****Вагнер В.А.****Биология и общественные науки (62)****68 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2009 ГОДА****Дианов Е.М., Ельцов К.М.****По физике — Ч.Као, У.Бойл, Дж.Смит (68)****Богданов А.А.****По химии — А.Йонат, В.Рамакришнан, Т.Стайтц (73)****Вершинин А.В.****По физиологии или медицине — Э.Блэкберн, К.Грейдер, Дж.Шостак (78)****83****Новости науки**

Звезда Corot-7 — обладательница двух супер-земель (83). Новый спектрограф Европейской южной обсерватории (84). Обойдемся без резонатора (84). Расширение магнитных нанокристаллов при охлаждении (85). Загрязнена ли Волга? Немировская И.А. (85). Крокодилы тоже болеют гриппом? Семенов Д.В. (86). Редкий случай поимки меч-рыбы в Балтийском море (87). Слоны в плейстоцене Сибири (87).

Рецензии**88 Хлебович В.В.****Занимательно и очень серьезно (на кн.: Танасийчук В.Н. Невероятная зоология)****91****Новые книги****Встречи с забытым****92 Взоров Н.Н.****Небесный путеводитель**

CONTENTS:**3 Gershtein S.S.****From Beta-Forces to Universal Interaction**

History of discovery of a new type of natural force — weak interaction — shows how due errors and insights of outstanding scientists new general concepts emerge from solutions of particular problems.

15 Lemenovsky D.A., Shemahanskaya M.S., Brusova G.P.**Resurrecting the Past Times**

Unfortunately, many techniques of restoration of archeological artifacts made from metal are not free from shortcomings. That is why the new methods, more perfect and universal, are being developed on the basis of advances of modern physics and chemistry.

22 Pavlova S.V., Shevchenko A.I., Zakiyan S.M.**Gender Equality in X-Chromosomes**

As well known, in mammalian species females have two times more genes situated in X-chromosomes than males. This inequality is being undone by switching out of one of the two X-chromosomes.

29 Krechmar A.V.**Under Protection of a Strong Neighbor**

In Arctic and sub-Arctic most avian species make their nests on the ground or at small height over it, so their nests are easy accessible to predators. In order to survive and successfully reproduce the birds use different, sometimes rather complicated tricks.

37 Tomilin M.G.**Flaming Opals of Australia**

The green continent is famous by its unique noble opals having a distinguishing feature: the rainbow-like iridescence (opalescence).

44 Velichko A.A., Vasiliev S.A., Gribchenko Yu.N., Kurenkova E.I.**Humans Advance to the North**

Humans first appeared at high latitudes of Northern Eurasia 35–25 thousand years ago. But active settlement of the North took place 12–11 thousand years ago. At the same time humans migrated across the Beringean «bridge» into Western Hemisphere and headed to the south.

56 Ryzhikov A.I.**Lake Endovische****What «Priroda» Wrote About****61****A New Rubric****Wagner V.A.****Biology and Social Sciences (62)****68 NOBEL PRIZE LAUREATES 2009****Dianov E.M., Eltzov K.M.****In Physics — Ch.Kao, W.Boyle, G.Smith (68)****Bogdanov A.A.****In Chemistry — A.Yonath, V.Ramakrishnan, T.Steitz (73)****Vershinin A.V.****In Physiology or Medicine — E.Blackburn, C.Greider, J.Szostak (78)****83****Science News**

Star Corot-7 — a Parent Star of the Two Super-Earthes (83). New Spectrograph of European Southern Observatory (84). Let Us Get Without Resonator (84). Dilatation of Magnetic Nano-Crystals under Cooling (85). Is Volga Polluted? Nemirovskaya I.A. (85). Crocodiles also Catch Flu? Semenov D.V. (86). A Rare Occasion of Catching Swordfish in Baltic Sea (87). Pleistocene Elephants in Siberia (87).

Book Review**88 Khlebovich V.V.****Amusingly and very seriously**

(on a book: Tanasijchuk V.N. Unbelievable Zoology)

91**New Books****Encounters With Forgotten****92 Vzorov N.N.****Celestial Guide**

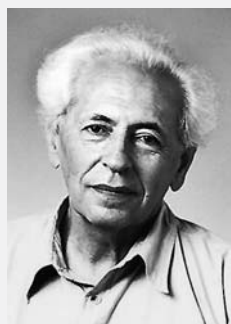
От бета-сил к универсальному взаимодействию

С.С.Герштейн

В 2008 г. исполнилось 50 лет с того времени, как Р.Фейнман и М.Гелл-Манн и независимо от них Р.Маршак и Э.Сударшан, а также Дж.Сакураи теоретически установили так называемый ($V-A$)-закон универсального слабого взаимодействия, блестяще подтвердившийся на опыте. Открытие этого закона, с одной стороны, решило существовавшую десятки лет проблему радиоактивного β -распада, а с другой — способствовало последующим замечательным достижениям, которые выявили принципы, лежащие в основе всех других законов взаимодействия элементарных частиц. История поисков, заблуждений и открытий, приведших к современным представлениям, очень поучительна; она принесла своим творцам множество Нобелевских премий. Начнем с начала: с проблем β -распада.

Этот загадочный бета-распад

Радиоактивный распад ядер, как известно, может происходить с испусканием α -, β - и γ -излучения (положительно заряженных ядер гелия, β -электронов и жесткого электромагнитного излучения). Изучение этих процессов столкнулось с, казалось, неразрешимыми проблемами как для α -, так и для β -распада. Энергия вылетающих α -частиц оказалась меньшей,



Семен Соломонович Герштейн, академик, доктор физико-математических наук, член бюро Отделения общей физики и астрономии РАН, главный научный сотрудник Института физики высоких энергий (Протвино), заслуженный профессор Московского физико-технического института.

Физик-теоретик, известный своими работами в области физики атома, элементарных частиц, астрофизики.

В прошлом году Семену Соломоновичу, давнему члену редколлегии «Природы», исполнилось 80 лет. Редакция, хоть и с некоторым опозданием, сердечно поздравляет юбиляра и желает ему еще долгих творчески насыщенных лет!

чем высота кулоновского барьера, определяющего отталкивание α -частицы от образовавшегося ядра. Это приводило к нелепому заключению, что α -частица не вылетает из распадающегося ядра, а начинает свой путь с расстояний, существенно превышающих его радиус. Парадокс снял гениальный русский физик Г.А.Гамов, впервые доказавший в 1928 г., что квантовая механика применима к ядерным процессам, и истолковавший α -распад как квантовый туннельный переход α -частицы сквозь кулоновский барьер.

Труднее обстояло дело с β -распадом. Тогда как α -частица при α -распаде определенного ядра всегда имеет определенную энергию (величина которой, согласно законам сохранения энергии и импульса, зависит от масс распадающегося и дочернего ядер), энергия β -частиц бывает разной. Часть энергии перехода куда-то теряется. Хуже того: оказывается, теряется и момент количества движения. Измерения собственных моментов ядер — их спинов — показало, что они при β -распаде меняются на целое число (в единицах постоянной Планка \hbar), в то время как спин электрона равен $1/2$. Все это привело Н.Бора к гипотезе, что закон сохранения энергии выполняется только статистически, а электрон, попадая в ядро, «теряет свою индивидуальность». Что означает эта фраза, сейчас понять трудно. Но в конце 20-х — начале 30-х годов ее многие вслед за Бором повторяли. Возможно, с помощью этих представлений пытались согласовать наблюдаемый β -распад с тем фактом, что в соответствии с квантово-механическим соотношением неопределенности электрон не может находиться в малом объеме ядра.

© Герштейн С.С., 2010

Чтобы «спасти» законы сохранения энергии и момента, В.Паули в 1930 г. выдвинул гипотезу, согласно которой в процессе β -распада из ядра вместе с электроном вылетает ускользящая от наблюдений нейтральная частица со спином $1/2$, которая уносит недостающую часть энергии и момента. Наличие в ядре нейтральных частиц со спином $1/2$, по мысли Паули, могло бы решить еще один парадокс ядерной физики. Дело в том, что в принятой тогда модели ядра Э.Резерфорда ядро азота 4_7N , имеющее заряд 7 и массовое число 14, должно было состоять из 14 протонов и 7 электронов, т.е. насчитывать в своем составе 21 частицу со спином $1/2$ и обладать полуцелым спином. Согласно принципу запрета Паули волновая функция молекулы N_2 должна была быть антисимметричной относительно перестановки тождественных ядер азота. Но изучение молекулярных спектров азота показало: ядра азота обладают спином 1, а волновая функция молекулы симметрична. Этот парадокс даже получил название «азотная катастрофа». Наличие в ядре дополнительного числа нейтральных частиц со спином $1/2$, по мысли Паули, могло ее устранить. Таким образом, согласно гипотезе Паули, из ядра при β -распаде вместе с электроном вылетала легкая нейтральная частица (позже она была названа нейтрино). Спрашивается: неужели Паули, один из творцов квантовой механики, не понимал, что легкая частица, так же, как и электрон, не могла находиться в ядре? Безусловно, понимал. Поэтому он и не решился опубликовать свою гипотезу в журнале, а изложил ее в полшутливом письме, направленном собранию физиков и начинавшемся словами: «Дорогие радиоактивные дамы и господа». Только убежденность в справедливости законов сохранения и принципа запрета убедила его рискнуть. И он оказался прав. Через два года, в 1932 г., Дж.Чедвик (Нобелевская премия 1935 г.) открыл нейтрон, обладающий спином $1/2$, т.е. частицу, которая, согласно гипотезе Паули, должна была входить в состав ядра. Однако в созданной на этой основе независимо Д.Д.Иваненко и В.Гейзенбергом протон-нейтронной модели ядра места ни для электрона, ни для возникающей вместе с ним при β -распаде легкой нейтральной частицы в ядре уже не оставалось (в полном согласии с принципом неопределенности). Поэтому было совершенно непонятно, как они появляются.

Определенной «подсказкой» к решению этой проблемы могла служить гипотеза, высказанная в 1930 г. В.А.Амбарцумяном и Д.Д.Иваненко после создания П.Дираком релятивистской квантовой теории электрона и квантовой электродинамики. По Дираку, электрон под влиянием электромагнитного поля может перейти из вакуума (который Дирак считал заполненным электронами с отрицательной энергией) в состояние с положительной энергией — рождаются электрон и «дырка» в вакууме, которая ведет себя как античастица

электрона — позитрон. Согласно гипотезе Амбарцумяна и Иваненко, электрон β -распада не находится в ядре, а «рождается», подобно тому как фотон, испускаемый возбужденным атомом, не содержится в этом атоме, а «рождается» благодаря взаимодействию электрона с электромагнитным полем. Но какое взаимодействие могло вызвать «рождение» нейтральной частицы вместе с электроном? Гравитационное для этого слишком мало, а электромагнитное вызывает лишь рождение заряженной частицы. Загадка появления в β -распаде электрона вместе с нейтральной частицей оставалась.

Парадокс устранил Э.Ферми, предположив с гениальным прозрением существование в Природе нового, неизвестного до тех пор, особого β -взаимодействия. Вспоминая встречу с ним в 1931 г. в Риме на конгрессе по ядерной физике, Паули писал: «Ферми... сразу проявил живой интерес к моей идее и отнесся к моей новой нейтральной частице весьма положительно». Позже, после открытия нейтрона, Ферми назвал ее уменьшительно нейтрино (по-русски это звучало бы «нейтрончик»). Ферми воспользовался концепцией, согласно которой возможно рождение и исчезновение не только фотонов, но и любых частиц — в результате их взаимодействия. Эта концепция непосредственно вытекала из дуализма волн и частиц, лежащего в основе квантовой механики. По Ферми, β -распад ядер сводился к превращению одного из нейтронов ядра в протон с испусканием электрона и нейтральной частицы — антинейтрино $\bar{\nu}$ (почему «анти-» — увидим чуть дальше):

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}.$$

Новая сила Природы

Гениальная интуиция Ферми проявилась в том, что β -взаимодействие он выбрал по аналогии с электромагнитным. Электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами, скажем между электроном и протоном, можно описать как взаимодействие, осуществляющееся путем обмена квантами электромагнитного поля — фотонами — между токами, создаваемыми соответственно электроном и протоном, в точках А и В (рис. 1). Точки А и В пространственно не совпадают, так как взаимодействие между зарядами, переносимое безмассовыми фотонами, дальнедействующее. Потенциал взаимодействия медленно (обратно пропорционально) падает с увеличением расстояния между частицами. В отличие от электромагнитного, β -взаимодействие должно обладать малым радиусом действия, так как электрон и нейтрино рождаются внутри, а не вне атомного ядра. Поэтому Ферми принял для простоты, что β -взаимодействие представляет собой контактное взаимодействие в одной и той же точке двух токов: одного, составленного из волновых функций нейтрино и элек-

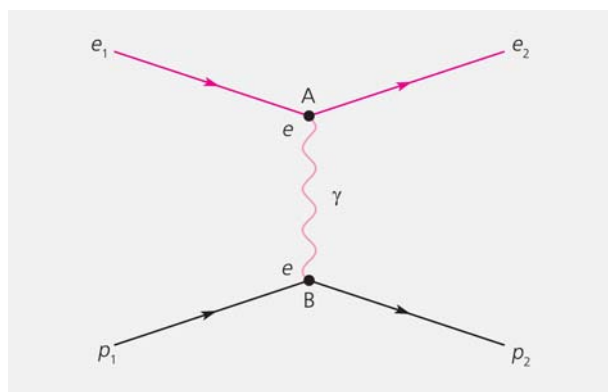


Рис.1. Электромагнитное взаимодействие электрона с протоном. Квантовая электродинамика описывает процесс рассеяния электрона на протоне так: в точке А исчезает исходный электрон e_1 , испустивший фотон γ , и возникает электрон e_2 , а в точке В исчезает первоначальный протон p_1 , поглотив фотон γ , и рождается протон p_2 .

трона — аналога электромагнитного тока электрона, и другого, составленного из волновых функций нейтрона и протона, — аналога электромагнитного тока протона (рис.2,а).

При таком составлении токов нейтральную частицу, возникающую при β -распаде нейтрона, следовало назвать антинейтрино, поскольку изображенное на рис.2,а исчезновение нейтрино ν_e описывает рождение ее античастицы $\bar{\nu}_e$. Из общих требований квантовой механики (сохранения полной вероятности всех процессов) к диаграмме на рис.2,а нужно добавить диаграмму, изображенную на рис.2,б, в которой все стрелки заменены на противоположные. Такая диаграмма описывает, в частности, позитронный распад протона в ядрах и захват атомного электрона одним из протонов ядра с испусканием нейтрино (так называемый К-захват).

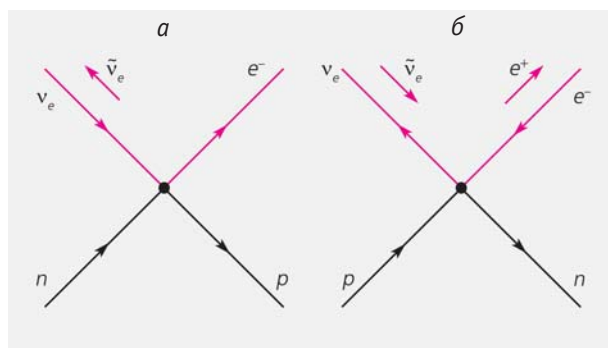


Рис.2. Схема β -распада. Нейтрон превращается в протон и электрон, испуская при этом антинейтрино (а). Обратный процесс — распад протона (б). Движение античастиц противоположно движению частиц, которым они соответствуют.

Плотность энергии β -взаимодействия согласно модели Ферми могла быть записана в следующем виде:

$$U = G/\sqrt{2}\{(\bar{\Psi}_e O_V \Psi_\nu)(\bar{\Psi}_p O_V \Psi_n) + (\bar{\Psi}_\nu O_V \Psi_e)(\bar{\Psi}_n O_V \Psi_p)\}, \quad (1)$$

где Ψ и $\bar{\Psi}$ — квантовые поля, отвечающие соответственно исчезновению и рождению электрона (e), нейтрино (ν_e), нейтрона (n) и протона (p), а также одновременно рождению и исчезновению их античастиц; G — некоторая феноменологическая постоянная, имеющая размерность энергии, умноженной на объем. Символом O_V обозначена матрица, с помощью которой из компонент волновых полей Ψ и $\bar{\Psi}$ составляется выражение, являющееся вектором в четырехмерном пространстве специальной теории относительности. Таким образом, плотность энергии U , представляя скалярное произведение двух векторов, оказывается скаляром и удовлетворяет требованиям специальной теории относительности: закон взаимодействия должен быть одинаков во всех инерциальных системах координат. (Математически это требование сводится к тому, что плотность энергии взаимодействия, вызывающего β -распад, должна быть скаляром в пространстве Минковского, не меняющимся при преобразованиях от одной инерциальной системы к другой.) Используя выражение (1), Ферми получил форму энергетического спектра β -электронов. Оказалось, что этот спектр просто пропорционален фазовому объему электрона и антинейтрино при известной энергии перехода (т.е. числу возможных состояний электрона и антинейтрино). Он хорошо согласовывался с рядом опытных данных. Время жизни β -активных ядер позволило определить константу взаимодействия G , названную позднее константой Ферми G_F . Она оказалась очень маленькой:

$$G_F/\sqrt{2} \approx 10^{-49} \text{ эрг}\cdot\text{см}^3. \quad (2)$$

Создание нейтрон-протонной модели атомных ядер и теории β -распада Ферми устранило, казалось, все проблемы с применимостью квантовой механики к ядерным явлениям и с выполнением законов сохранения энергии и момента. Однако возникла новая проблема.

Какие силы скрепляют ядро?

В модели Резерфорда можно было, по крайней мере качественно, полагать, что электроны удерживают в ядре протоны благодаря электромагнитным силам, точно так же, как они связывают атомные ядра в молекулах. Но как при этом могут удерживаться в ядре нейтральные частицы, не разлетаясь, подобно атомам газа? В упомянутом письме к «радиоактивным дамам и господам» Паули полагал, что это происходит за счет того, что нейтральная частица, имеющая спин, может обладать маг-

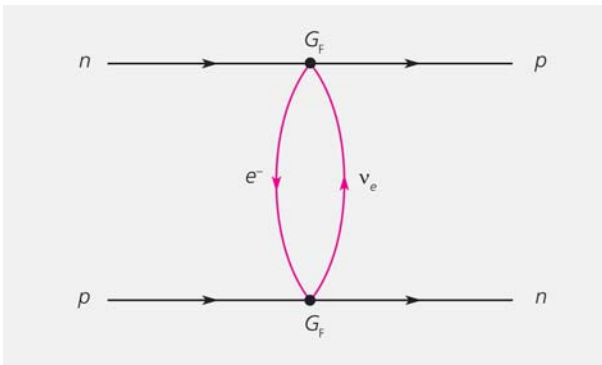


Рис.3. Предполагаемая схема обменного взаимодействия протона и нейтрона: за счет обмена электроном и нейтрино под действием сил β -распада.

нитным моментом. Судя по всему, какой гигантский нужен для этого магнитный момент, Паули не думал. Аналогичным образом Гейзенберг при создании нейтрон-протонной модели ядра тоже хотел воспользоваться электромагнитными силами для удержания нейтрона. Он предположил, что в системе нейтрон—протон первый может превращаться в протон и электрон (по-видимому, потерявший по Бору в ядре свою индивидуальность) и этот электрон способен удерживать два протона, как в молекулярном ионе водорода H_2^+ . Конечно, создатель квантовой механики, открывший принцип неопределенности, не мог не понимать, что такая система должна иметь размеры порядка размера иона водорода, а не ядерные, в сто тысяч раз меньшие. Но это его не смутило. Ему важна была сама качественная идея возникновения сил.

Ни Паули, ни Гейзенберг не решились вводить каких-либо новых сил, ограничивая себя известным электромагнитным взаимодействием. Но эти их ошибки лишь подтверждают, что у гениальных людей и ошибки бывают гениальными. Действительно, Паули в своем письме предсказывает не только нейтрон и нейтрино, но и их спины, а также возможность существования у них магнитных моментов. А в модели взаимодействия нейтрона с протоном, предложенной Гейзенбергом, по существу содержалась идея обменных сил.

После создания теории β -распада И.Е.Тамм и («совершенно независимо» от него, по словам Тамма в его статье) Иваненко предположили, что силы, возникающие между нейтроном и протоном, могут возникать из-за обмена электроном и антинейтрино, испускаемыми и поглощаемыми нуклонами под влиянием взаимодействия Ферми (рис.3). Зная константу Ферми, Тамм смог оценить силу взаимодействия между нейтроном и протоном. Она оказалась быстро убывающей с увеличением расстояния между ними, но, к сожалению, на 14 (!) порядков меньше той, которая была необходима для связи нуклонов в ядре.

Итак, попытка представить силы, действующие между нуклонами, как результат обмена частицами, возникающими при β -распаде, оказалась неудачной. Но восторжествовала сама идея объяснить короткодействующий характер ядерных сил их обменным происхождением*. В 1935 г. японский физик Х.Юкава, используя эту идею (сославшись на статьи Тамма и Иваненко), выдвинул гипотезу, что взаимодействие между протоном и нейтроном осуществляется путем обмена некоей неизвестной частицей, массу которой он оценил по измеренному радиусу действия ядерных сил** $r_0 \approx 1.4 \cdot 10^{-13}$ см. Она составила примерно 300 масс электрона, т.е. оказалась между массой электрона и массой протона, равной 1840 электронным масс. Поэтому ее назвали мезоном. Такая частица могла ускользать из предыдущих наблюдений, так как в веществе она должна была сильно поглощаться ядрами, а кроме того, по мысли Юкавы, быстро распадаться на электрон и нейтрино, играя роль промежуточной частицы не только во взаимодействии нуклонов, но и при β -распаде (рис.4).

* По словам людей, близких к Тамму, он, получив Нобелевскую премию за интерпретацию излучения Черенкова, тем не менее лучшим своим достижением считал идею об обменном характере ядерных сил.

** Согласно квантовому соотношению неопределенностей, промежуточная частица может просуществовать время $\Delta t \sim \hbar/mc^2$ (где \hbar — постоянная Планка, c — скорость света, а m — масса частицы). За это время промежуточная частица, даже двигаясь со скоростью, близкой к c , не может удалиться на расстояние большее, чем $r_0 \approx \hbar/mc$.

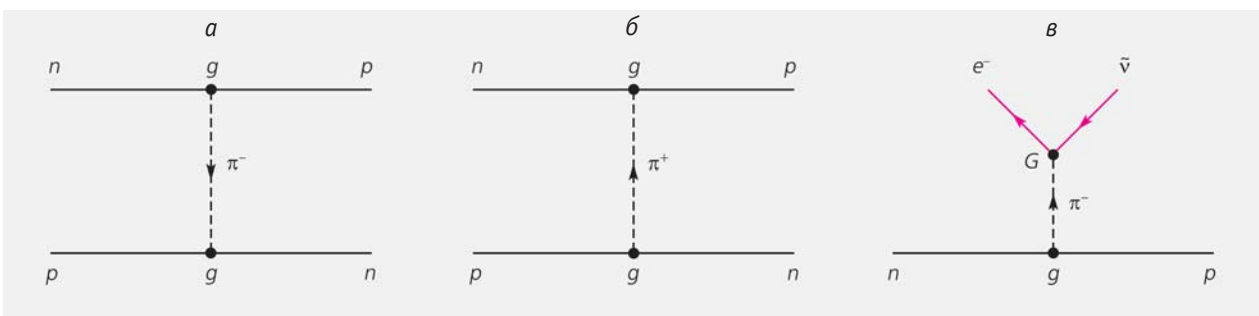


Рис.4. Взаимодействие нуклонов (а, б) и β -распад (в) с участием новой промежуточной частицы — мезона.

Поскольку промежуточную частицу никогда не наблюдали, Юкава мог приписать ей такую константу взаимодействия с нуклонами, которая была необходима для объяснения величины ядерных сил. Эта константа (g), имеющая размерность электрического заряда, превышала его приблизительно в 20 раз, а возникающие обменные силы в 100—1000 раз превосходили кулоновское взаимодействие электрических зарядов. Так возникло представление о различии на 12—14 порядков между сильными (ядерными) и слабыми взаимодействиями (единственным известным проявлением которых был тогда только β -распад).

Для подтверждения гипотезы Юкавы надо было прежде всего найти предсказанную им частицу. Согласно его теории такая частица могла бы рождаться при столкновении протонов с ядрами вещества, если бы энергия столкновения была достаточно велика. При столкновении быстрого протона с неподвижными ядрами кинетическая энергия налетающего протона должна была для этого превышать 300 МэВ. Что могло явиться источником частиц такой высокой (по тем временам) энергии, если энергия α -частиц, которые использовал Резерфорд для открытия атомного ядра, не превышала нескольких мегаэлектронвольт? Того же порядка величины была энергия первых ускорителей — циклотронов. Оказалось, однако, что Природа подарила исследователям источник частиц высокой энергии. Это были космические лучи.

Космические лучи — подарок Природы

Многие современные физики, использующие ускорители высокой энергии, прецизионную аппаратуру и мощнейшую вычислительную технику, склонны забывать тот поистине героический подвиг, который совершили первые исследователи физики элементарных частиц, пользуясь примитивной (с современной точки зрения) методикой и очень слабым по интенсивности источником частиц высокой энергии. Поэтому я несколько отклонюсь от основной темы, чтобы напомнить об этих исследованиях, которые в конечном счете и заложили фундамент современной физики элементарных частиц. Из этого рассказа станет ясно, какая тесная связь существует между, казалось бы, различными направлениями исследований. Хочется также упомянуть и о важном вкладе отечественных ученых, подзабытом в последнее время.

Космические лучи были открыты в 1912 г. В.Гессом, обнаружившим, что на высотах, превышающих 1000 м над ур.м., степень ионизации воздуха (которую связывали с радиоактивностью земных пород) начинает существенно возрастать. Дальнейшее изучение показало, что ионизирующее излучение в виде заряженных частиц и γ -квантов приходит в атмосферу Земли из космического пространства. Важнейшее для всего последующего раз-

вития физики элементарных частиц открытие, заключающееся в том, что частицы космических лучей обладают очень большой энергией, было сделано в 1929 г. Д.В.Скобельцыным. Начиная с 1924 г. он изучал в камере Вильсона рассеяние энергичных γ -квантов (от радиоактивного источника) на электронах, чтобы, регистрируя электроны отдачи, получить решающее подтверждение корпускулярной природы света. Чтобы убраться из поля наблюдения первичные электроны, влетающие в камеру от источника вместе с γ -квантами, Скобельцын поместил камеру в магнитное поле. При этом он заметил, что на некоторых фотографиях в камере Вильсона присутствуют следы приходящих сверху заряженных космических частиц, которые практически не искривляются в магнитном поле. Это свидетельствовало о большой энергии частиц космического излучения, намного превышающей энергию частиц радиоактивного распада. Продолжая исследование космических лучей с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле, Скобельцын в 1929 г. обнаружил, что некоторые частицы космических лучей свободно проходят сквозь свинцовую пластинку, а некоторые дают при выходе из нее целый ливень вторичных заряженных частиц. Эти открытия Скобельцына положили начало физике космических лучей и физике высоких энергий. В том же 1929 г. В.Боте и В.Кольхёрстер изобрели схему совпадений для регистрации прохождения частиц через мишень, помещенную между двумя плоскостями из счетчиков Гейгера—Мюллера. Эта схема сыграла важную роль в изучении физики ядра и космических лучей. (За изобретение схемы совпадений и открытия, сделанные с ее помощью, Боте в 1954 г. удостоился Нобелевской премии.) В 1932 г. П.Блэккетт и Дж.Оккиалини, основываясь на открытиях Скобельцына, существенно усовершенствовали его технику камеры Вильсона в магнитном поле, использовав схему совпадений. Поместив камеру Вильсона между счетчиками Гейгера—Мюллера, расположенными один над другим и включенными в схему совпадений, они использовали сигнал с этих счетчиков (означавший пролетание частицы космических лучей через камеру) для запуска камеры и фотографирования «следов» в ней. Это позволило им избежать фотографирования «пустых» кадров и намного увеличить число наблюдаемых событий. В результате были подтверждены открытия Скобельцына, касающиеся существования в космических лучах ливней и проникающих частиц высокой энергии.

Вскоре К.Андерсон, используя технику Скобельцына, открыл в космических лучах позитрон e^+ — античастицу электрона, предсказанную Дираком. (В 1936 г. Андерсону за это открытие была присуждена Нобелевская премия, которую он разделил с Гессом, получившим ее за открытие космических лучей.) В том же 1933 г. Блэккетт и Оккиалини наблюдали в ливнях рождение пары электрона и позитрона. (В 1948 г. Блэккетт получил Но-

белевскую премию за развитие метода камеры Вильсона и открытия, сделанные им с ее помощью в области ядерной физики космических лучей). После открытия в космических лучах частиц высокой энергии стало ясно, что именно в них надо искать частицу Юкавы.

На первых порах эти поиски показали успешными. Действительно, в 1936—1937 гг. К.Андерсон и С.Неддермейер обнаружили, что в космических лучах присутствует неизвестная частица с массой меньше массы протона, но больше массы электрона. Однако скоро стало ясно, что эта частица не может быть частицей Юкавы, поскольку последняя, согласно гипотезе Юкавы, должна сильно поглощаться атомными ядрами и, родившись под воздействием космических лучей в верхних слоях атмосферы, практически не имеет шансов достигнуть поверхности Земли. Вместе с тем, как оказалось, эти проникающие частицы обоих знаков заряда составляют около 80% частиц космических лучей, наблюдаемых на Земле на уровне моря. Примерно 20% оставшихся приходится на электроны и позитроны. Открытая частица была впоследствии названа μ -мезоном, или мюоном.

Идея универсальности бета-сил

Прямым доказательством того, что мюон не является частицей Юкавы, стали эксперименты М.Конверси, Э.Панчини и О.Пиччиони, показавшие в 1947 г., что остановившиеся в веществе отрицательные мюоны захватываются атомными ядрами (по оценкам Гамова) на 12 порядков медленнее, чем должна была бы захватываться частица Юкавы. Примерно такое соотношение получалось между силами Юкавы и обменным взаимодействием Тамма—Иваненко, обусловленным вызываемыми β -распад силами (см. выше). На основе этого Б.М.Понтекорво в 1947 г., сославшись на оценки Гамова, предположил, что захват мюона ядром происходит под действием сил той же самой природы, что и β -распад, который обуславливает для некоторых ядер возможность захвата орбитального электрона одним из протонов ядра с испусканием нейтрино: $e^- + p \rightarrow n + \nu$ (рис.2,б).

Это была первая идея об универсальном характере β -взаимодействия, которое, в отличие от сильного, стали называть слабым*. Исходя из ана-

* Любопытно заметить, что оценка Гамова, которая навела Понтекорво на мысль об универсальности β -сил, была ошибочной. Она была бы справедлива, если бы частица Юкавы непосредственно сталкивалась с ядром. Однако в действительности, как указали Э.Ферми и Э.Теллер, отрицательно заряженный мезон в веществе вначале захватывается кулоновскими силами притяжения на высокие орбиты мезоатома (из ядра и мезона), а затем только после серии каскадных переходов приближается к ядру на расстоянии порядка радиуса действия ядерных сил. Эти каскадные переходы происходят за времена порядка 10^{-9} — 10^{-11} с и тем самым определяют время жизни ядерно-активного мезона в веществе.

логии между захватом протоном электрона и μ -мезона (реакции $e^- p \rightarrow n \nu$ и $\mu^- p \rightarrow n \nu$), Понтекорво приписал мюону спин 1/2. В дальнейшем Понтекорво показал, что при распаде мюона возникает электрон, который уносит лишь неопределенную часть энергии распада, а поэтому приходится допустить рождение вместе с электроном не одной, а сразу двух нейтральных частиц, ускользающих от наблюдения (скорее всего, нейтрино). Проявив предусмотрительность, Понтекорво не стал, однако, отождествлять их с нейтрино (или антинейтрино) из β -распада, записав реакцию в виде**

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu' + \nu'' \quad (3)$$

В 1950 г. Понтекорво предпринял попытки зарегистрировать распад мюона на электрон и γ -квант:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma \quad (4)$$

и, не обнаружив его, установил верхний предел вероятности такого процесса.

В 60-е годы, когда отсутствие реакции (4) на значительно более низком уровне вероятности поставило вопрос о возможном различии нейтрино, испускаемых в реакциях с электронами и мюонами, Понтекорво предложил способ экспериментально решить эту проблему на ускорителях высокой энергии. Опыты Л.Ледермана, М.Шварца и Дж.Штейнбергера, проведенные в 1962 г., доказали, что электронные и мюонные нейтрино — различные частицы (Нобелевская премия за 1988 г.). Поэтому в современных обозначениях реакции с их участием имеют вид:

$$e^- p \rightarrow n \nu_e; \mu^- p \rightarrow n \nu_\mu; \mu^- \rightarrow e^- \tilde{\nu}_e \nu_\mu; \mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \tilde{\nu}_\mu \quad (5)$$

Предполагая, что взаимодействие, вызывающее распад мюона (3), имеет вид, аналогичный четырехфермионному взаимодействию Ферми, вызывающему β -распад, можно было вычислить время жизни мюона и сравнить его с наблюдаемым. Оказалось, что для объяснения наблюдаемого времени жизни мюона константа этого взаимодействия должна по порядку величины совпадать с константой β -распада. Этот результат свидетельствовал в пользу гипотезы Понтекорво об универсальности слабых взаимодействий. Вслед за Понтекорво эту гипотезу высказали О.Клейн (1948), Т.Ли, М.Розенблют, Ч.Янг (1949), Дж.Тиомно, Дж.Уиллер (1949).

Итак, свойства неожиданно обнаруженного мюона послужили важным указанием на существование особой универсальной силы Природы — слабого взаимодействия. Но оставался вопрос: «каким образом в космических лучах возникают мюоны, достигающие поверхности Земли?» Для его решения стали проводиться исследования на больших высотах: в горах или с подъемом аппаратуры на воздушных шарах. Поставить точку уда-

** Впервые распад мюона на заряженную и нейтральные частицы наблюдал Б.Росси с соавторами в 1939 г. Из этих результатов он получил оценку времени жизни мюона ≈ 2 мкс.

лось в 1948 г. с помощью наблюдения следов частиц в толстослойных фотоэмульсиях*. Было установлено, что верхних слоях атмосферы присутствуют частицы, обладающие ядерным взаимодействием (т.е. частицы Юкавы), причем они составляют заметный компонент космических лучей. Были зарегистрированы случаи рождения этих частиц при столкновениях протонов космических лучей с ядрами эмульсии и события развала ядер при проникновении в них частиц Юкавы. А в опытах Ч.Латтеса, Дж.Оккиалини и С.Пауэлла было обнаружено, что останавливающаяся в эмульсии частица Юкавы с массой около 300 масс электрона (ее признали частицей Юкавы и назвали π -мезоном или пионом) распадается на более легкую заряженную частицу и нейтральную, ускользающую от наблюдения. Эта заряженная частица, масса которой оказалась равной примерно 200 масс электрона, и была μ -мезоном, достигающим поверхности Земли. Нейтральную частицу отождествляли с нейтрино. В современных обозначениях распад π -мезона записывается в виде

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu; \pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu. \quad (6)$$

В 1949 г. Юкаве присудили Нобелевскую премию «за предсказание существования мезонов на основе теоретической работы по ядерным силам». А в 1950 г. Нобелевскую премию получил Пауэлл за «развитие фотографического метода изучения ядерных процессов и открытие мезонов, сделанное этим методом». Оценки показали: время жизни пиона согласуется с тем, что распад (6) происходит под влиянием слабого взаимодействия с константой G , совпадающей по порядку величины с константой β -распада (2). Схема распада пиона показана на рис.5.

* Впервые метод толстослойных фотопластинок для регистрации медленных частиц космического излучения был применен Л.В.Мысовским, а затем усовершенствован А.П.Ждановым.

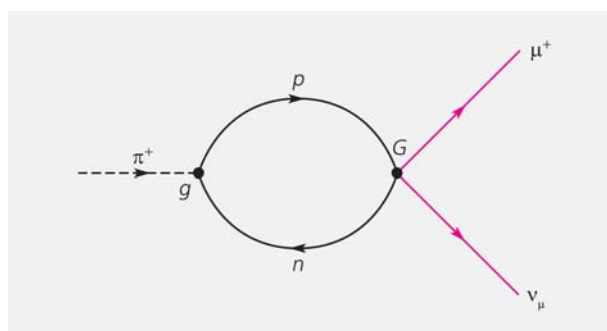


Рис.5. Метаморфозы пиона. Благодаря сильному взаимодействию Юкавы пион (π^+) может на короткое время превращаться в протон и антинейтрон, которые аннигилируют посредством слабого взаимодействия (типа изображенного на рис.2,б) в мюон и мюонное нейтрино. Напомним, что движение антинейтрона происходит в направлении, противоположном тому, которое указывает стрелка для нейтрона.

Дальнейшие исследования помогли обнаружить в космических лучах частицы нового типа и новые процессы, происходящие под влиянием слабых взаимодействий. В 1947 г. Дж.Рочестер и К.Батлер впервые наблюдали так называемые V -частицы. Своё название они получили потому, что распад нейтральных V -частиц на две заряженные напоминал вилку. Впоследствии выяснилось, что за V -частицу принимали разные частицы. Одна из них была K^0 -мезоном, распадающимся на два пиона: $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$, а другая — Λ -гипероном, распадающимся на протон и отрицательный пион: $\Lambda \rightarrow p \pi^-$. V -частицы составляли заметную долю (порядка нескольких процентов) частиц, рождающихся в космических лучах на больших высотах. Это означало, что они возникают в результате сильного взаимодействия протонов космических лучей с ядрами атмосферы. С другой стороны, их время жизни, которое можно было оценить по пробегу от точки рождения до точки распада, оказалось парадоксально большим. Действительно, если бы V -частицы, способные к сильному взаимодействию, распадались на сильновзаимодействующие частицы (протоны и пионы) под действием сильного же взаимодействия, их время жизни составляло бы* $10^{-23} - 10^{-24}$ с. А оно по порядку величины было 10^{-10} с. Иначе говоря, взаимодействие, вызывающее распад V -частиц, должно быть на $10^{13} - 10^{14}$ порядков слабее сильного. Это характерное различие послужило указанием на то, что распад V -частиц происходит благодаря слабому взаимодействию. Загадкой стал тот факт, что частицы, рождающиеся в сильных взаимодействиях, распадаются благодаря не сильному, а слабому взаимодействию. Первый шаг к решению этого парадокса сделал в 1952 г. А.Пайс, предположивший, что V -частицы рождаются парами**. Полностью проблему сняли в 1953 г. М.Гелл-Манн и независимо К.Нишиджима, предположившие, что V -частицы обладают особым квантовым числом («зарядом»), который сохраняется в сильных взаимодействиях и имеет противоположные значения для Λ - и K^0 -частиц (в то время как для пионов и нуклонов он равен нулю). Гелл-Манн назвал это квантовое число *странностью*. Сохранение странности позволяет Λ - и K -частицам рождаться парами в сильных взаимодействиях, но запрещает распадаться каждой из них благодаря такому взаимодействию. Распад странных частиц с участием слабого взаимодействия можно объяснить тем, что в слабых взаимодействиях странность не сохраняется и может

* Время жизни частиц, распадающихся благодаря сильному взаимодействию, по порядку величины должно составлять r_0/c , где r_0 — радиус действия ядерных сил. Такие частицы, названные резонансами, впоследствии были обнаружены и сыграли важную роль в создании систематики частиц.

** Подобную гипотезу высказывал Понтекорво, показав экспериментально на ускорителе Лаборатории ядерных проблем в Дубне, что Λ -частицы не рождаются одиночным образом при столкновении нуклонов.

изменяться (условно на единицу). Используя зарядовую независимость ядерных сил, Гелл-Манн и Нишиджима объединили известные частицы в группы (мультиплеты) «похожих» частиц и предсказали существование нескольких других, еще не открытых к тому времени (Гелл-Манн за классификацию частиц и их взаимодействий стал нобелевским лауреатом 1969 г.; Фейнман получил свою премию чуть раньше, в 1965 г., за вклад в квантовую электродинамику).

Так появились новые данные, указывающие на универсальный характер прежних β -сил. Но для доказательства этого требовалось найти закон слабого взаимодействия, который, как выяснилось, мог отличаться от первоначально предложенного Ферми (1).

Фермиевский и гамов-теллеровский варианты: теория и эксперимент

Теоретические поиски закона β -распада основывались на требованиях специальной теории относительности; напомним, плотность энергии должна быть скаляром. Такой скаляр можно построить из волновых полей четырех фермионов (частиц со спином $1/2$) пятью различными способами. Из двух четырехкомпонентных полей $\bar{\Psi}_1$ и Ψ_2 , удовлетворяющих релятивистскому квантовому уравнению Дирака, можно составить пять величин, преобразующихся в пространстве Минковского как скаляр (S), вектор (V), тензор (T), аксиальный вектор (A) и псевдоскаляр (P). Такие же комбинации можно составить из полей $\bar{\Psi}_3$ и Ψ_4 . Слабое четырехфермионное взаимодействие, согласующееся с принципами теории относительности, в общем случае могло бы быть комбинацией пяти вариантов с разными коэффициентами:

$$U = G\{g_S SS + g_V VV + g_T TT + g_A AA + g_P PP\},$$

т.е. существенно сложнее, чем предложенное Ферми (1) взаимодействие (VV). Как заметили в 1936 г. Гамов и Теллер, изменение спинов ядер в некоторых наиболее интенсивных β -переходах определенно требует наличия тензорных или аксиально-векторных связей (их стали называть гамов-теллеровскими). В то же время β -переходы под действием векторных и скалярных связей с наибольшей вероятностью происходят без изменения спина ядра. Эти варианты β -взаимодействия получили название фермиевских. Установление закона одного только слабого β -взаимодействия становилось довольно сложной экспериментальной задачей, а проверка универсального характера слабых взаимодействий требовала к тому же определения законов взаимодействия для распада мюона, его захвата ядрами, распадов странных частиц.

В 1955 г. в качестве фермиевского варианта β -распада считался предпочтительным с экспери-

ментальной точки зрения (S)-вариант, а в качестве гамов-теллеровского — тензорный (T). Однако, как мы увидим ниже, эти выводы оказались неправильными. Если бы теория не указала, каким именно должен быть этот закон взаимодействия, вряд ли он был бы экспериментально установлен до наших дней. Но как это удалось теории? Удалось благодаря подсказке, которую предоставили экспериментальные открытия.

В 1956 г. Ли и Янг (отмеченные Нобелевской премией уже в 1957 г.) предположили, что в слабых взаимодействиях может нарушаться зеркальная симметрия. В связи с этим Л.Д.Ландау, а также независимо А.Салам и сами Ли с Янгом указали на возможность существования так называемого двухкомпонентного, или спирального, нейтрино, у которого спин направлен всегда строго по импульсу (или против импульса) частицы. Проведенные вскоре эксперименты подтвердили вторую возможность: спин нейтрино направлен против его импульса, т.е. нейтрино представляет собой левый «винт», в то время как антинейтрино — правый. Такая спиральная структура возможна только для частиц с нулевой массой покоя, движущихся со скоростью света. Для частиц, обладающих массой покоя, всегда существует система координат, где эта частица покоится, и спин ее может иметь произвольное направление. Однако состояние таких частиц можно представить как суперпозицию левых и правых спиральных состояний. В отличие от безмассовых, массивная частица в левом спиральном состоянии может с некоторой вероятностью обладать спином, направленным по импульсу, а в правоспиральном — спином, направленным против. Вероятность таких состояний при высокой энергии мала. Она равна приблизительно $(mc^2/\epsilon)^2$, где m — масса покоя частицы, а ϵ — ее энергия, т.е. в левоспиральном состоянии спин частицы при $\epsilon \gg mc^2$ направлен в основном против импульса частицы, а в правоспиральном — по нему.

Гипотеза спирального нейтрино и стала той подсказкой, которая помогла найти универсальный закон слабого взаимодействия. Фейнман и Гелл-Манн предположили, что не только нейтрино (тогда считавшееся безмассовым), но и массивные частицы дают вклад в плотность энергии слабого взаимодействия своими левыми спиральными компонентами. В этом случае единственной возможностью для взаимодействия четырех фермионов остается произведение векторных токов, предложенное Ферми (1), за тем исключением, что входящие в них волновые функции заменяются их левыми спиральными проекциями. Такие произведения соответствуют суперпозиции векторного (V) и аксиального (A) токов, а сам закон получил название (V—A)-взаимодействия. По существу, похожие соображения привели к такому же закону Маршака и Сударшана, а также Сакураи. Новые эксперименты показали, что в соответ-

вии с (V—A)-законом фермиевский вариант β -распада действительно векторный (а не скалярный, как это считалось ранее), в то время как гамов-теллеровский — аксиальный, а не тензорный. Были подтверждены экспериментально и другие предсказания (V—A)-закона*.

Закон сохранения векторного тока

Фейнман и Гелл-Манн сделали в своей работе чрезвычайно важное сравнение. Взяв константу векторного варианта β -распада, они вычислили время жизни μ -мезона, которое с точностью существовавших в то время экспериментальных данных (~2%) совпало с измеренным на опыте. Замечательное доказательство универсальной природы слабых взаимодействий! Но вместе с тем этот результат заставлял задуматься. Дело в том, что при β -распаде нейтрона последний в результате сильного взаимодействия оказывается окруженным «шубой» из π -мезонов, превращаясь, например, на короткое время в протон плюс отрицательно заряженный пион и обратно в нейтрон. Эти превращения, казалось бы, должны влиять на константу β -распада хотя бы потому, что нейтрон часть времени проводит в виде протона с π -мезоном. Но почему она такая же, как для мюона, не обладающего сильным взаимодействием? Фейнман и Гелл-Манн высказали гипотезу, объясняющую этот факт. Они исходили из аналогии с электромагнитным взаимодействием. Почему электрический заряд протона, который часть времени проводит в виде нейтрона и положительно заряженного пиона, равен (по абсолютной величине) заряду электрона? Потому, что на это время протон передает свой заряд пиону, и, таким образом, на расстояниях, значительно больших размеров протона с его пионной «шубой», заряд остается одним и тем же. Чтобы векторная константа β -распада не менялась под влиянием сильных взаимодействий, нужно было по аналогии с электрическим зарядом приписать пионам β -силы. Это сводилось к тому, что должен существовать с вполне определенной вероятностью β -распад заряженных пионов: $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$ и $\pi^- \rightarrow \pi^0 e^- \bar{\nu}_e$. Свое предположение Фейнман и Гелл-Манн назвали гипотезой сохранения векторного тока (Conserved Vector Current, CVC). Оказалось, однако, что еще за три года до их работы такая возможность уже рассматривалась, причем не в качестве гипотезы, а как следствие универсальности слабого взаимодействия.

* Поскольку не только нейтрино, но и частицы, обладающие ненулевой массой покоя, вошли в закон β -распада своими левыми спиральными компонентами, отпала необходимость считать нейтрино безмассовой частицей. Последние экспериментальные данные по осцилляции нейтрино с достоверностью доказывают, что нейтрино имеют хотя и очень малую, но отличную от нуля массу.

Зельдович и бета-распад пиона

Один из замечательнейших физиков-универсалов XX в. Я.Б.Зельдович умел в течение своей жизни выбирать наиболее актуальные направления исследований. В начале 50-х годов, будучи занятым работами по созданию ядерного и термоядерного оружия, он тем не менее был в курсе открытий в области физики элементарных частиц и обратил внимание на интригующую возможность существования новой универсальной силы Природы, единственным проявлением которой до того был только β -распад. Его заинтересовала работа Ферми и Янга, согласно которой пионы состоят из нуклона и антинуклона: π^+ — из протона и антинейтрона, π^- — из антипротона и нейтрона, а π^0 — из суперпозиции протон—антипротон и нейтрон—антинейтрон. Он рассмотрел причины, по которым заряженные пионы оказываются тяжелее, чем нейтральные, и обратил внимание на возможный β -распад заряженных пионов за счет универсального β -взаимодействия.

Этот процесс мог осуществляться для заряженного π^+ двумя способами (рис.6). Зельдович показал, что такой процесс возможен только в случае векторного варианта β -распада. Сама вероятность β -распада оказалась ничтожно малой, порядка

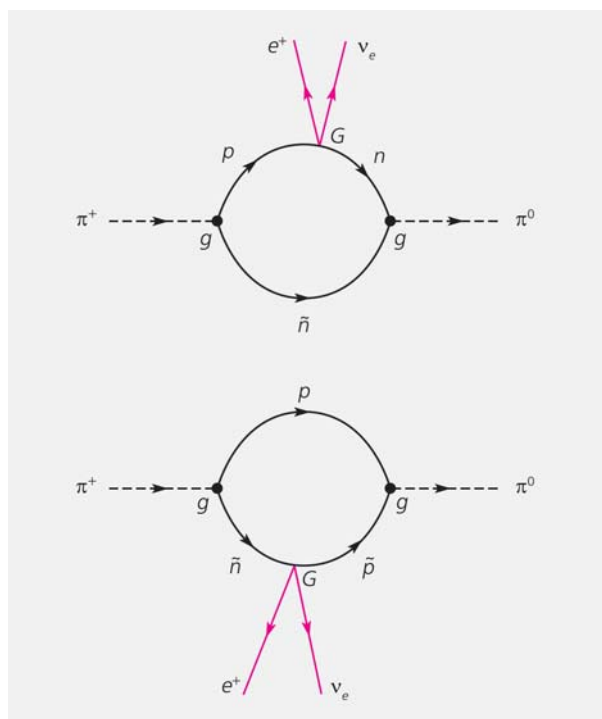


Рис.6. Два способа гипотетического β -распада заряженного π -мезона: в первом распадается протон: $\pi \rightarrow n e^+ \nu_e$, а образовавшийся нейтрон вместе с антинейтроном образуют нейтральный пион; во втором распадается антинейтрон: $\bar{n} \rightarrow \bar{p} e^+ \nu_e$, и антипротон с протоном переходят в состав π^0 .

10^{-8} , т.е. на него приходится одна стомиллионная доля от вероятности обычных распадов пиона $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$. Поэтому данный процесс, казалось, представлял некоторую экзотику. Важность его выяснилась позже*.

В 1953 г., когда я полностью сдал теорминимум Ландау, он познакомил меня с Зельдовичем. Яков Борисович предложил мне заняться проблемами β -распада и поставил следующий вопрос: «Отношение гамов-теллеровской константы β -распада к фермиевской, согласно опытным данным, равно 1.3, т.е. близко к единице. Было бы красиво, если бы эти константы были в точности равны для «голого» нуклона, а отличие от единицы возникло бы из-за пионной «шубы». Давайте оценим эту возможность». В то время считалось твердо установленным, что гамов-теллеровским взаимодействием является тензорное, а фермиевским — скалярное. Поскольку я тогда только учился технике расчетов, я решил провести их в качестве упражнения для всех вариантов взаимодействия. После того как мы с Яковом Борисовичем сверили свои расчеты и учли в векторном варианте β -распад пиона, мы обнаружили, что взаимодействие с пионом не меняет векторной константы β -распада нуклонов. Мы поняли, что в этом случае мы имеем аналогию с электрическим зарядом протона, не изменяю-

* Приведенные Зельдовичем вычисления оказываются полностью справедливыми и для кваркового строения пионов. Чтобы понять это, следует заменить на рис.б протон u -кварком, а нейтрон — d -кварком.

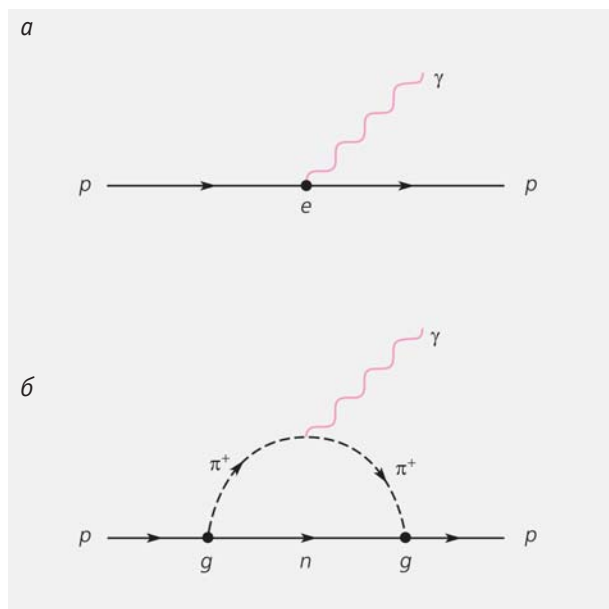


Рис.7. Взаимодействие «голого» протона с электромагнитным полем (а). Испускание протоном на некоторое время пиона не изменит электрическое поле на расстояниях, существенно превышающих размер пионной «шубы» протона, так как этот заряд передается пиону (б).

щимся, несмотря на взаимодействие с пионами, что поясняют рис.7 и 8.

Мы не могли пройти мимо этой аналогии, но, поскольку тогда в качестве β -взаимодействия принимались S- и T-варианты, в своей статье написали: «Не имеет практического значения, но методически интересно, что в случае векторного (V) варианта взаимодействия следовало бы ожидать тождественно $g_{F(V)} \equiv g'_{F(V)}$, т.е. равенства величины векторной константы фермиевского взаимодействия ее значению для «голого» нуклона». И далее: «...такой результат можно предвидеть по аналогии с теоремой Уорда, относящейся к взаимодействию заряженных частиц с электромагнитным полем: в этом случае виртуальные процессы не ведут к перенормировке электрического заряда частицы» (ЖЭТФ. 1955. Т.29. С.698). Поразительно, что, исходя из разных соображений, Фейнман с Гелл-Манном и мы с Яковом Борисовичем пришли к одинаковому заключению о сохранении векторного тока. В 1958 г. Фейнман на Международной конференции по физике высоких энергий в своем выступлении отметил, что мы впервые указали на возможность сохранения слабого векторного тока, а они с Гелл-Манном, начав изучать проблему, не знали о нашей работе. Впоследствии Гелл-Манн, посвятивший ряд работ развитию идеи CVC и ее экспериментальной проверке, всегда ссылался на нашу работу как приоритетную. Лучшей проверкой CVC, считал Фейнман, было бы экспериментальное обнаружение β -распада пиона и измерение его вероятности. Но задача казалась невы-

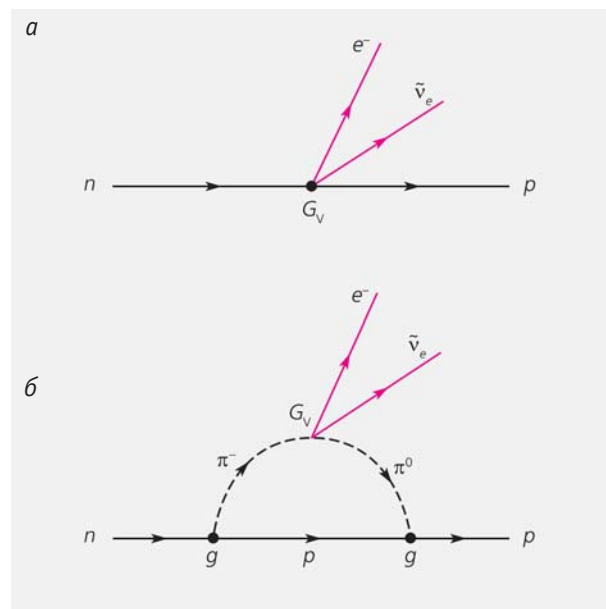


Рис.8. Аналог рис.7 для слабого взаимодействия. Благодаря β -распаду пиона константа векторного β -взаимодействия оказывается одинаковой для «голого» (а) и «одетого» в пионную «шубу» (б) нуклона.



Э.Ферми



Б.М.Понтекорво



Я.Б.Зельдович

полной из-за исключительной малости этой величины. Первым, кто решился на такой эксперимент, был молодой сотрудник Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований в Дубне, будущий академик Ю.Д.Прокошкин. В 1962 г. он вместе со своими сотрудниками В.И.Петрухиным, А.Ф.Дунайцевым и В.И.Рыкалиным наблюдал первые акты β -распада пиона, а к 1964 г. измерил с точностью около 10% вероятность процесса, подтвердив теоретические предсказания. Одновременно на большей статистике это было сделано будущим нобелевским лауреатом (1984 — за открытие W^- и Z -бозонов) К.Руббиа с сотрудниками. В настоящее время вероятность β -распада пиона, измеренная на мезонных фабриках, совпадает с теоретической с точностью до долей процента.

Возвращаясь назад, хочется отметить, что интуиция и уверенность в красоте (симметрии) физических законов не обманули Зельдовича. В действительности, согласно $(V-A)$ -закону для «голых» нуклонов константы фермиевского и гамовтеллеровского одинаковы, а их отличие возникает из-за участия в слабом взаимодействии пионов. Как было показано М.Гольдбергером и С.Трейманом, наблюдаемое на опыте отношение абсолютных значений констант аксиального и векторного взаимодействий определяется пионным током, который вызывает процесс, изображенный на рис.4,в. Если пренебречь массой самого легкого адрона — пиона, то наряду с сохранением векторного тока возможно сохранение и аксиального. Идея о приближенном сохранении аксиального тока по аналогии с векторным была высказана в 1960 г. М.Гелл-Манном и М.Леви, а также незави-

симо Й.Намбу (лауреатом Нобелевской премии 2008 г.) и названа гипотезой частичного сохранения аксиального тока — PCAC (Partially Conserved Axial Current). Она хорошо объясняет отношения между константами аксиального и векторного тока, полученные Гольдбергером и Трейманом. Законы сохранения токов привели к весьма плодотворному теоретическому методу исследования процессов, названному алгеброй токов. Гипотеза CVC, как отмечается в связи с этим в книге Дж.Бернштейна «Элементарные частицы и их токи» (с.179), «была одной из самых плодотворных гипотез, сделанных когда-либо в теории слабых взаимодействий». Однако значение ее, как оказалось, вышло за рамки одних только слабых взаимодействий.

Ключ к новым поискам

Структура слабого взаимодействия $(V-A)$ в виде произведения двух векторных токов указывала на то, что это взаимодействие между токами может переноситься промежуточной векторной частицей (со спином единица) подобно тому, как электромагнитное взаимодействие между токами переносится фотонами (рис.1). В отличие от фотона, такая гипотетическая частица должна быть заряженной и иметь достаточно большую массу (чтобы слабое взаимодействие было короткодействующим). Еще до блистательного экспериментального открытия этой промежуточной частицы, названной W^\pm -бозоном, был поставлен вопрос: случайно ли то, что и в слабых, и в электромагнитных процессах пе-

реносчиками взаимодействия являются именно векторные частицы со спином единица? Оказалось, что на этот вопрос уже существовал ответ. Он был дан в работе Ч.Янга и Р.Миллса, выполненной в 1954 г., за четыре года до открытия (V—A)-закона. Идея этой работы заключалась в следующем. Пусть имеется какая-то сохраняющаяся величина. Закон сохранения ее (согласно известной теореме Э.Нётер) обязательно связан с определенной симметрией, т.е. какими-то преобразованиями, оставляющими неизменной энергию системы. Если параметры этого преобразования (например, какие-либо углы поворота) — произвольные функции пространственно-временной точки (такая симметрия называется *локальной*), то для того, чтобы физические величины не содержали произвола, рассматриваемая сохраняющаяся величина должна быть обязательно источником некоторого *векторного поля*, компенсирующего этот произвол. Другими словами, при наличии локальной симметрии сохраняющаяся величина служит «зарядом», порождающим так называемое калибровочное векторное поле. Таким калибровочным полем является электромагнитное поле, создаваемое электрическими зарядами и их токами.

Открытие (V—A) закона слабых взаимодействий и закона сохранения векторного тока указало на то, что константа векторного варианта β -взаимодействия — своеобразный «заряд», а промежуточные векторные частицы соответствуют калибровочному полю. На этом пути удалось установить единую природу слабых и электромагнитных взаимодействий. За создание единой теории электрослабых взаимодействий А.Саламу, Ш.Глэшоу и С.Вайнбергу в 1979 г. была присуждена Нобелевская премия.

Основной принцип, заключающийся в том, что сохраняющиеся величины могут быть источниками калибровочных полей, сыграл решающую роль и в создании теории сильного взаимодействия элементарных частиц. Когда возникла гипотеза, что каждый тип («аромат») кварков может находиться в трех возможных состояниях, отличающихся особым квантовым числом — «цветом», Намбу предложил рассматривать эти «цвета» как

особые заряды, создающие восемь калибровочных полей, которые осуществляют взаимодействие между кварками и друг с другом. Позднее эти поля назвали глюонами, имея в виду, что они «склеивают» кварки в наблюдаемые сильновзаимодействующие частицы — адроны. На этой основе были созданы квантовая хромодинамика и современная Стандартная модель элементарных частиц. Идея калибровочных полей направляет поиски расширения Стандартной модели и теории Великого объединения всех сил Природы. Исходным пунктом, указавшим на калибровочную природу элементарных взаимодействий, было открытие (V—A)-закона слабых взаимодействий и сохранения векторного тока.

Эпилог

Во Флоренции, в соборе Санта-Кроче находится усыпальница великих итальянцев, обогативших выдающимися достижениями мировую культуру и науку. Справа от главного входа расположены усыпальницы Данте, Микеланжело, Россини, Верди, Маккиавели, а в глубине собора у противоположной стены — Леонардо да Винчи и Галилея. В 1995 г. во Флоренции проходила международная конференция, посвященная памяти замечательных итальянцев, имена которых встречаются в настоящей статье: Понтекорво, Оккиалини и Росси. Участники конференции установили в соборе Санта-Кроче мемориальную доску с именем Ферми, который заслуженно занял место рядом с Галилеем и Леонардо да Винчи. Именно Ферми, внося выдающийся вклад в ядерную физику, ядерную энергетику, квантовую статистику и физику элементарных частиц, заложил основы современных представлений, приведших в конечном счете к открытию новой силы Природы, установлению (V—A)-варианта слабого взаимодействия, а в дальнейшем — к современной Стандартной модели. Хотя свою Нобелевскую премию Ферми получил уже в 1938 г. — за открытие искусственной радиоактивности, вызванной бомбардировкой медленными нейтронами, — он вполне заслуживал еще не одной. ■

Воскресить ушедшие эпохи



*Истинно время придет, когда в тех дальних пределах
Согнутым плугом своим борозду прорезающий пахарь
Дротики в почве найдет, изъязвленные ржею шершавой,
Тяжкой мотыгой своей наткнется на шлемы пустые
И богатырским костям подвигнется в могиле разрытой.
Вергилий*

Д.А.Леменовский, М.С.Шемаханская, Г.П.Брусова

Согласитесь, несколько неожиданно узнать о столь уважительном отношении древнеримского поэта, жившего в I в. до н.э., к предметам древнейшей культуры. Интерес к ушедшим эпохам у человечества, вероятно, был всегда. По существу предметы древнего быта, орудия труда и оружие, произведения декоративно-прикладного искусства, сохранившиеся рисунки и тексты представляют собой не только культурное достояние. Они формируют тот фундамент, на котором стоит историческая наука, культурология и искусствоведение.

Тем не менее уважительного отношения и интереса к таким предметам недостаточно, необходимо уметь их сохранять и реставрировать.

От ремесла к науке

Многие люди, далекие от археологии, иногда наивно полагают, что найденный в земле металлический предмет вполне достаточно отмыть каким-либо моющим средством от грязи, почистить мягкой щеткой и высушить. Такой способ пригоден, скорее всего, только для того, чтобы освежить потускневшие фамильные украшения. Работа с археологическими находками из металлов всегда предполагает внимательное всестороннее изучение состава, особенностей изготовления, сохранности. После этого наступает этап рес-



Дмитрий Анатольевич Леменовский, доктор химических наук, профессор химического факультета МГУ, заведует лабораторией координационных металлоорганических соединений. Круг научных интересов: химия органических и металлоорганических соединений, металлокомплексный катализ, супрамолекулярная химия, квантово-химические расчеты.



Марина Сергеевна Шемаханская, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Государственного научно-исследовательского института реставрации. Реставратор высшей категории, заслуженный деятель искусств. Область научных интересов — археология, стабилизация и пассивирование металлов, атрибуция и экспертиза музейных экспонатов.



Галина Павловна Брусова, кандидат химических наук, доцент лаборатории координационных металлоорганических соединений химического факультета МГУ. Научные интересы связаны с органическим синтезом, физико-химическими методами исследования.

таврации, требующей от реставратора определенных навыков и специальных знаний. Из-за сложности коррозионной системы, которую представляет собой археологический металл, из-за разнообразия степени сохранности предметов, высокой ответственности за уникальные экспонаты реставрация представляет собой по существу научно-исследовательскую работу. Современная реставрация давно отошла от простого ремесла, сегодня это междисциплинарная научная область. Творческая работа реставратора прохо-

© Леменовский Д.А.,
Шемаханская М.С., Брусова Г.П., 2010

дит на стыке естественнонаучных и гуманитарных дисциплин. Диктуемая ныне необходимость максимально сохранить информацию, заложенную в древнем предмете, требует новых, щадящих методик реставрации.

Мы в своей работе уделили основное внимание предметам из медных и железных сплавов. Об этом и пойдет речь.

Появление изделий из меди относят к бронзовому веку. Металл принципиально расширил возможности человека в освоении природы, стал основным материалом для изготовления орудий труда. Все начиналось с мелких предметов, затем были сельскохозяйственные инструменты (серпы, плуги), оружие (наконечники копий и стрел, ножи, кинжалы), украшения, зеркала, посуда. Первоначально использовалась самородная медь, затем — медные сплавы.

Обобщающим термином «бронза» обозначают сплавы меди с оловом, мышьяком, свинцом. Кроме того, в древних сплавах часто содержатся примеси цинка, сурьмы, железа, никеля и некоторых других элементов. Сплавы получали не только из чистых металлов, но и путем сплавления металлов с рудами либо смешением различных руд. В результате медно-никелевые и медно-цинковые сплавы появились за много столетий до того, как люди научились добывать чистые никель и цинк. Наши далекие предшественники, судя по всему, достаточно хорошо могли оценить свойства образующихся сплавов и вполне сознательно использовали их для изготовления предметов разного назначения.

Бронза, в отличие от чистой меди, более легкоплавка, и потому облегчен процесс ее получения. К тому же бронза значительно прочнее и имеет высокие литейные качества (точно воспроизводит тонкие детали литейной формы).

Знаменательный этап в истории цивилизации — переход от медных сплавов к железным — был продиктован рядом обстоятельств. Среди них — заметно бо́льшая конструкционная прочность железных сплавов в сравнении с медными. Кроме того, железо — один из самых распространенных элементов в земной коре: занимает четвертое место после кислорода, кремния и алюминия. Медь же находится в этом перечне на 26-м месте. Иными словами, железосодержащих минералов неизмеримо больше, нежели медьсодержащих.

Первоначально железо получали сыродутным способом: в яму закладывали руду и уголь, над ней сооружали купол с короткой трубой, а сбоку размещали мех для дутья. Само железо — весьма мягкий материал — древние мастера научились насыщать углеродом, чтобы образовались твердые сплавы, способные воспринимать закалку. Орудия труда и оружие изготавливали с помощью многократной горячейковки. Позже нашли способы термической и химической обработки, за счет чего придавали изделиям из железных сплавов деко-

ративный вид. Такое оксидирование, называемое в быту воронением, одновременно защищало поверхность от коррозии.

Состав металлических сплавов в археологических предметах в настоящее время подробно изучен. Для этого использовались такие спектральные методы, как рентгено-флуоресцентный, нейтронно-активационный и др. Участки протравленной поверхности исследовались с помощью микроскопа. Короче говоря, состав сплава успешно определяют современными физическими методами. Однако в том, что относится к процедуре восстановления предметов, подвергавшихся коррозии в течение тысячелетий и столетий, существует еще много проблем.

Немилосердное время

Какие процессы протекают при длительном взаимодействии металлических предметов с атмосферной или почвенной средой?

Если коррозия атмосферная, медные сплавы покрываются тонкой пленкой оксидов меди: красного Cu_2O и черного CuO . Со временем пленка приобретает коричневый цвет, это так называемая естественная патина — темный прозрачный слой, придающий изделиям налет благородной старины.

При почвенной коррозии археологического объекта (именно с ней приходится иметь дело реставратору) образуются коррозионные слои разного состава. Наружный слой, покрытый остатками почвы и органических наслоений, содержит карбонат CuCO_3 и основной карбонат меди $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$. В этом же слое часто находится основной карбонат меди синего цвета, а также основной хлорид меди $\text{CuCl}(\text{OH})$. Под наружным слоем лежит плотный красно-коричневый оксид меди Cu_2O , содержащий включения черного оксида CuO . В некоторых случаях на поверхности металла находятся участки восстановленной меди — это результат электрохимической коррозии, тоже протекающей в почве.

В самом металле, под коррозионными слоями, можно наблюдать межкристаллитную коррозию. Она образуется по границам зерен и зависит от состава сплава и особенностей структуры.

Между металлической медью и оксидным слоем находится самая опасная коррозионная составляющая — хлорид меди CuCl_2 . Чаще всего он образуется при повышенной влажности и наличии ионов хлора, поступающих из засоленных почв. Хлорид меди при взаимодействии с влагой воздуха гидролизует, образуя основной хлорид $\text{CuCl}(\text{OH})$. Выделяющийся при этом хлороводород HCl в присутствии кислорода и влаги начинает разрушать не затронутую коррозией металлическую медь. На поверхности предмета появляются небольшие ярко-зеленые пятна рыхлого гигро-

скопичного вещества, постепенно очаги разрастаются, разрушение идет даже в глубь металла. Так возникают каверны, поверхность становится изъязвленной. Этот процесс называют «бронзовой болезнью».

Все рассмотренные коррозионные процессы условно называют минерализацией. И в самом деле образующиеся соединения по составу соответствуют природным минералам: куприту (оксид меди), малахиту, азуриту (карбонаты меди), атакамиту (основной хлорид меди), касситериту (диоксид олова) и др.

Почвенная коррозия железных сплавов тоже обусловлена действием кислорода и влаги. Главные продукты представляют собой оксиды и гидроксиды железа $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ желтовато-коричневого цвета, синие фосфаты $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$, желтовато-серый карбонат $FeCO_3$. Все эти соединения по составу близки к природным минералам: лимониту, вивианиту, сидериту соответственно.

Сплавы железа заметно менее устойчивы к коррозии, чем медные сплавы, и весьма чувствительны к изменению внешних условий. Предмет, находящийся в почве, — это фактически система в термодинамическом равновесии между металлом и окружающей средой. Когда предмет извлекается из археологического слоя, равновесие нарушается: меняется влажность и облегчается доступ кислорода, в результате увеличивается скорость коррозии. Ионы хлора, попавшие в объект из почвенной влаги, реагируя с металлом, образуют хлориды железа. Они так же, как хлориды меди, гидролизуются и выделяется хлороводород HCl , который взаимодействует с металлической поверхностью, а также может растворять поверхностные слои оксидов и гидроксидов. Место коррозии все время перемещается, затрагивая новые участки сохранившегося металла, что приводит к активному разрушению предмета. Иногда изменением оказывается весь объем металла. Следовательно, реставрацию извлеченного объекта нельзя отложить на неопределенное время, необходимо как можно раньше приступить к обработке, чтобы не потерять ценную находку.

Восстановить и уберечь

Наука реставрации накопила громадное количество разнообразных приемов, позволяющих вернуть корродированным предметам вид, близкий к первоначальному. В большинстве случаев используют реагенты, широко применяемые в народном хозяйстве для очистки и консервации металлов. Отдельные оригинальные методики удалось создать некоторым талантливым реставраторам, сочетавшим знание химии с искусством экспериментатора. Некоторые методы разработаны специально для очистки конкретных предметов, другие более универсальны. Выбор того или ино-

го способа зависит от типа металла и степени его сохранности.

К сожалению, как показал анализ, многие применяемые методики, успешно очищающие и защищающие поверхность изделия, сопровождаются разными побочными эффектами.

Работа с археологическим предметом обычно протекает в несколько этапов. Первый из них — очистка от загрязнений, образовавшихся при бытовании предмета и смешанных с частицами органических веществ и остатками почвы. Очистку производят водными растворами или органическими растворителями (спиртами, кетонами, ароматическими углеводородами). Последние в ряде случаев предпочтительнее, поскольку не вызывают коррозию очищаемых предметов, однако дороги, часто токсичны и огнеопасны.

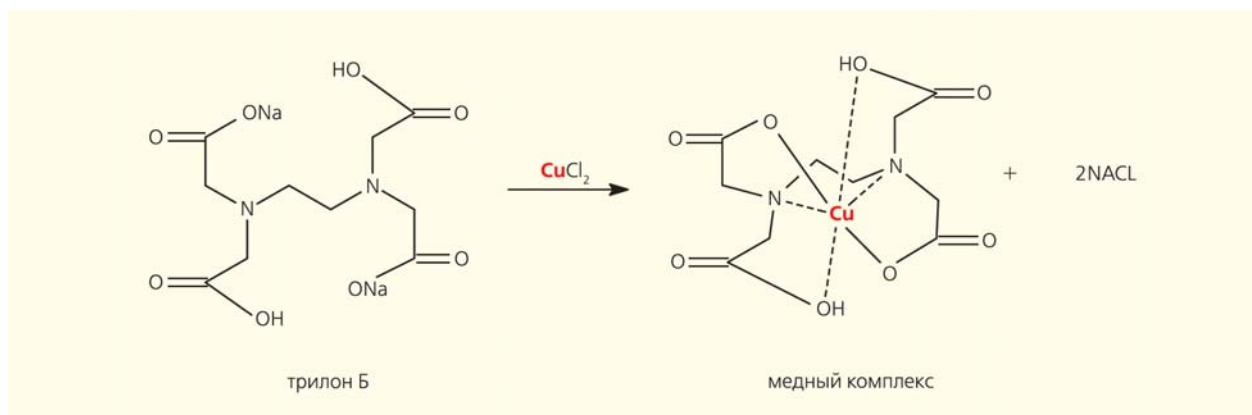
Далее следует химическая процедура — освобождение от продуктов коррозии. Его проводят в тех случаях, когда необходимо выявить тонкие следы декоративной обработки, надписи или когда нет надежды сохранить коррозионный слой в стабильном состоянии.

Для химической «чистки» существует много реагентов. Щелочным раствором сегнетовой соли $NaKC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ удаляют, например, соли меди Cu^{2+} . Однако в ходе обработки часто образуется восстановленная металлическая медь, что резко меняет внешний вид поверхности. К тому же этот реагент не действует на Cu_2O .

Гексаметафосфат натрия $Na_6P_6O_{19} \cdot nH_2O$ (более известно его торговое название «калгон» — смягчитель воды) связывает ионы Ca и Mg (т.е. освобождает от остатков земляных наслоений, но не удаляет Cu_2O). С такой же целью применяют сульфаминовую кислоту (метод реставратора Н.И.Трофимова). Оба метода требуют весьма много времени.

Широко используют трилон Б, т.е. динатриевую соль этилендиамина тетрауксусной кислоты. Этот реагент эффективно связывает в комплексы ионы различных металлов, при этом ион металла «укрывается» во внутренней полости молекулы. Трилон Б растворяет почти все нерастворимые в воде продукты коррозии — оксиды, гидроксиды и карбонаты. Однако замечено, что он может вызвать «растравливание» металла из-за межкристаллических дефектов в нем. Такой же результат (только еще в большей степени) вызывает обработка водными растворами муравьиной или лимонной кислоты.

Другой подход к обработке корродированного металлического предмета — стабилизация, т.е. сохранение коррозионного слоя или очищенного металла в стабильном состоянии. Для этого необходимо остановить процессы, которые приводят к разрушению металла, и, разумеется, не изменить внешний вид предмета. Основная проблема — удалить следы хлорида меди $CuCl_2$, виновника «бронзовой болезни».



Образование комплекса меди при действии трилона Б.

Один из наиболее распространенных способов, пригодных для извлечения ионов хлора из пор, трещин и полостей, — длительная (достигающая нескольких месяцев) многократная промывка дистиллированной водой. Однако полного удаления Cl^- практически никогда не удается достичь.

Используют также процессы, которые приводят к замещению ионов Cu^{2+} ионами Al^{3+} (метод Роземберга; используется алюминиевая фольга) или ионами Ag^+ (метод Р.М.Органа; основан на применении оксида серебра Ag_2O). Как выяснилось, оксид серебра лишь механически блокирует очаг активной коррозии. Эти методы требуют последующего тщательного удаления (вручную) образующихся хлоридов алюминия, а также следов восстановленной меди.

При обработке водным раствором сесквикарбоната натрия (смесь кислого и среднего карбонатов натрия $\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) галогениды переходят в трудно растворимые карбонаты. Они-то и «запечатывают» хлориды меди в порах и трещинах, предохраняя их от контакта с влагой. Процесс длится несколько месяцев, при этом каждый день необходимо менять реагент, а диффузия новых порций в мелкие полости заметно затруднена.

Своеобразный метод стабилизации предложен реставраторами А.П.Белкиным и М.В.Нацким. Основная идея — превращение химически активных соединений меди в инертный сульфид CuS обработкой поверхности водным раствором сульфида аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}$. Процесс достаточно быстрый, однако он несколько меняет внешний вид поверхности: некоторые участки покрываются черным сульфидом, впрочем, малозаметным на фоне естественной патины.

Английский реставратор Г.Дж.Плендерлис предложил обработку бензтриазолом $\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_3\text{H}$. Этот препарат широко используют в замкнутых системах водонагрева, чтобы предотвратить коррозию аппаратуры. Бензтриазол блокирует металлическую поверхность, создавая тем самым барьер, препятствующий доступу влаги к активным продуктам

коррозии. Наиболее эффективен он для защиты чистых металлических поверхностей, не подвергшихся коррозии. Есть один крупный недостаток бензтриазола — он сильный канцероген.

Процессы коррозии предметов из железных сплавов близки к тем, которые протекают в медных сплавах, наиболее агрессивные продукты коррозии — те же хлориды. От них освобождаются с помощью карбоната аммония в нашатырном спирте, растворами щелочей. Применяют также упомянутый трилон Б.

Весьма эффективно использование танина, который более известен как дубильное вещество. Он не удаляет продукты коррозии, а образует с ними прочные нерастворимые комплексы, предохраняющие железо от дальнейшего разрушения. Идея применения танина возникла после археологических раскопок в Англии, где были найдены хорошо сохранившиеся железные предметы, несмотря на то, что почвы в этом районе были весьма агрессивны. Оказалось, что на месте раскопок ранее находились мастерские по дублению кож, и в землю выливали отработанные растворы, содержащие танин. Опыт работы с танином показал, что он не предотвращает рецидивную коррозию, кроме того, поверхность предмета приобретает черный цвет — такова окраска таннатных комплексов.

Восстановление оксидов железа до металла монооксидом углерода CO или водородом в электрических печах при температуре $500\text{--}800^\circ\text{C}$ в настоящее время практически не применяется. Такие процессы требуют достаточно сложной аппаратуры и последующей механической обработки.

Широко применяют способ консервации железных сплавов, называемый в быту преобразованием ржавчины. Это — обработка поверхности ортофосфорной кислотой, содержащей ингибитор (например, уротропин), который препятствует ее взаимодействию с металлическим слоем. Оксиды железа при такой обработке превращаются в фосфаты, прочно соединяющиеся с поверхностью металла.

Используя те или иные разработанные методики с учетом состава металлического сплава, степени корродированности и формы предмета, многие реставраторы достигли весьма достойных результатов.

Здесь уместно отметить, что проблемы реставрации тесно связаны с чисто эстетическими вопросами. Стараясь сохранить археологический вид предмета, реставратор должен выявить его форму, показать детали украшения или конструктивные особенности, раскрыть гравировку или надпись и при этом уберечь налет старины. Желательно, чтобы работа реставратора была минимально заметна. Точно так же музыкант-исполнитель не должен стараться блеснуть техническим мастерством, его задача — «показать» само произведение. Все эти эстетические принципы, определяющие границы допустимого реставрационного вмешательства, сформулированы в Международной (Венецианской) хартии по консервации и реставрации памятников и достопримечательных мест. Хартия была принята в 1964 г. на проходившем в Венеции II Международном конгрессе архитекторов и технических специалистов по историческим памятникам.

Новый подход

Как уже сказано, при детальном знакомстве с существующими методами реставрации выявляются те или иные нежелательные побочные результаты. Некоторые способы были найдены не при детальном анализе химических процессов, а эмпирически, скорее всего, на полученном удачном результате. Часто коррозионный слой полностью исчезал, в результате чего предметы теряли специфический археологический вид, металлическая поверхность оказывалась растравленной и тусклой.

К началу наших исследований по восстановлению археологических объектов мы уже накопили опыт такой работы. Пользовались известными методиками и разными реагентами: бензотриазолом, оксидом серебра, сесквикарбонатом натрия, сульфидом аммония и др. В экспериментах выяснилось, что всегда сохранялась высокая вероятность возникновения рецидивной коррозии после реставрации (в случае медных сплавов — «бронзовой болезни»).

Напомним: современные принципы реставрации требуют максимально сберечь информацию, которую несет экспонат, и сохранять его археологический вид — своеобразный аттестат древности предмета. До сих пор не существовало метода, который позволил бы полностью удалить активаторы коррозии без риска разрушить древний коррозионный слой.

Было очевидно, что необходимы новые, более совершенные и универсальные способы, основан-

ные на современных достижениях физики и химии. Разработка одной из таких методик стала темой нашей работы.

Мы выбрали экспонаты из цветных и черных металлов, находившиеся во вспомогательном музейном фонде Государственного научно-исследовательского института реставрации (ГОСНИИР). Методики отработывали на сравнительно небольших образцах.

Сформулировав общие химические принципы решения задачи, мы наметили и основные этапы разрабатываемой методики.

При поиске новых очищающих средств главное — провести химическую очистку поверхности таким образом, чтобы сохранить исторический коррозионный слой (патину). Необходимы были достаточно деликатные реагенты, основное действие которых — ослабить адсорбцию разных ионов (прежде всего хлорид-анионов) для более легкого последующего их удаления.

С этой целью мы испытали высокополярные органические растворители — моно-, ди- и триэтанолamines общей формулы $\text{NH}_x(\text{CH}_2\text{OH})_{3-x}$. Кроме них был опробован наиболее современный реактив (именуемый химиками «королем растворителей») диметилсульфоксид $(\text{CH}_3)_2\text{S}=\text{O}$, а также смеси указанных веществ.

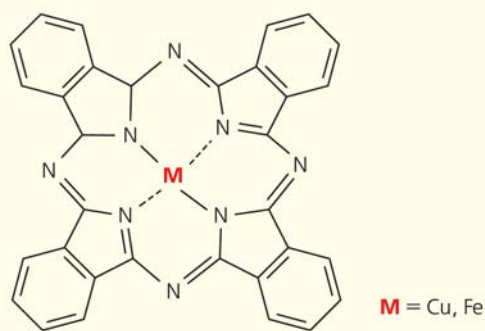
Выбор реактивов был продиктован тем, что они обладают хорошей проникающей способностью, высокой полярностью и выраженной склонностью к комплексообразованию с катионами металлов. Благодаря этому наши реактивы проникают к металлическому ядру через микропоры и трещины в продуктах коррозии. Ионы хлора взаимодействуют, как упоминалось, с металлом и образуется HCl , а этаноламины связывают не только катионы металлов, но и протоны кислоты. Благодаря этому заметно понижается кислотность среды и облегчается удаление хлоридов из коррозионного слоя. Таким образом, на стадии очистки проходит первичный этап химической обработки.

На следующем этапе мы вытесняли из разрыхленного коррозионного слоя активные хлорид-анионы, замещая их поливалентными борат-анионами (для медных сплавов) или фосфат-анионами (для железных). С этой целью использовали обработку борной кислотой или производными фосфорной кислоты.

Экспериментально мы установили, что выбранные реагенты и предложенные процедуры не оказывают вредного воздействия на сам металл. Кроме того, за счет обработки фосфат- или борат-анионами даже несколько повышается механическая прочность исторического коррозионного слоя.

Третий этап — пассивирование* поверхности металла и коррозионного слоя действием органи-

* Обработка поверхности металла, которая делает его пассивным, неспособным к обычным реакциям — окислению и др.



Фталоцианиновый комплекс.

ческих комплексообразователей. В этом качестве были испытаны как синтетические реагенты (фталоцианин, полифенолы), так и природные (танин [1]). Молекула фталоцианина, собранная из азотсодержащих циклов, активно связывает ионы металлов в комплексы, прочно удерживая их внутри циклической молекулы. Это несколько напоминает «захват» иона молекулой трилона Б, однако фталоцианиновый комплекс заметно стабильнее того, который образуется с трилоном.

Схема действия танина и полифенолов приблизительно такая же. В результате на поверхности защищаемого металла образуется тончайшее, не видимое глазом покрытие, нерастворимое, устойчивое к окислению и эффективно защищающее поверхность. Более того, пассивированию подвергается не только сама металлическая поверхность, но и исторически сложившийся на ней коррозионный слой.

На этом процедура стабилизации металлических археологических объектов заканчивается. Далее необходимо было оценить результативность нашего метода. Мы устроили проверку обработанных образцов, помещая их во влажную камеру — лабораторный эксикатор с водой в нижнем отделении. Создав таким образом 100%-ю влажность, мы имитировали ускоренную коррозию, которая провоцирует «бронзовую болезнь» медных сплавов.

Оказалось, отдельные рецидивные очаги коррозии все же существуют. Их возникновение — это результат неполного удаления активных хлорид-анионов из наиболее глубоких коррозионных каверн и раковин, которые стали доступны после удаления части коррозионного слоя.

Этими испытаниями мы выявили главный фактор, отрицательно влияющий на общую кинетику всех пассивирующих процессов. Им оказался самый медленный процесс — диффузия хлорид-анионов из глубоких коррозионных каверн. Стало ясно, что следует воздействовать на кинетику диффузии реагентов в труднодоступные



Осколки бронзового кувшина (II в. до н.э., Северный Кавказ) и тот же кувшин после реставрации.

Здесь и далее фото М.С.Шемаханской



Бронзовый ритон, найденный археологами (II в., Передняя Азия) и этот же сосуд, уже отреставрированный. Такие сосуды в виде рога, служившие для питья и культовых возлияний, находят в захоронениях древней знати.



Железная проколка (V-IV вв. до н.э., Сарматская культура) и она же после реставрации.

участки поверхности. По нашему мнению, такая диффузия представляет собой основную проблему, которую нужно преодолеть при поиске способов, позволяющих снизить вероятность рецидивной коррозии.

В связи с этим после испытаний во влажной камере мы повторили химическую обработку экспонатов, дополнив ее ультразвуковым воздействием невысокой мощности. В результате заметно стимулировалась диффузия реагентов внутрь коррозионных раковин и в труднодоступные полости.

В среднем вся процедура обработки занимает 15–20 дней (для традиционных методов требуется несколько месяцев). По разработанной методике мы отреставрировали 18 экспонатов из цветных металлов и 20 — из черных [2–4].

Изложенные здесь принципы химической и физической стабилизации-пассивирования металлической поверхности археологических предметов до нас никто не использовал. В реставрации музейных экспонатов такая методика никогда ранее не применялась.

Общая химическая концепция разработанной методики достаточно универсальна. Однако при переходе от сравнительно небольших предметов к более крупным потребуются некоторые изменения технологии.

Заканчивая рассказ о новом методе реставрации, отметим, что мы умолчали о не менее увлекательной части работы. Она связана с выяснением технологии изготовления предмета, составом, областью применения экспоната в быту или в различных традициях и обрядах. Когда все это выяснено, обычный предмет наполняется особым смыслом и «жизнью». Не можем не упомянуть о том, какие совершенно непередаваемые чувства испытывает реставратор, работая с предметами древнего быта, когда через его руки проходит само Время.

Перефразировав последнюю строку из эпитафии, подивимся могучим способностям древних цивилизаций, владевших совершенными технологиями и умевших создавать исключительно полезные, а часто — эстетически привлекательные вещи. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 05-06-80140-а, 09-06-00179.

Литература

1. Шемаханская М.С., Леменовский Д.А., Брусова Г.П. и др. // Реставрация музейных ценностей. М., 2006. №9. С.29–33.
2. Леменовский Д.А., Шемаханская М.С., Брусова Г.П., Локишин Б.В. // Реставрация музейных ценностей. М., 2007. №10. С.36–37.
3. Шемаханская М.С., Леменовский Д.А., Локишин Б.В., Брусова Г.П. // Реставрация музейных ценностей. М., 2008. №11. С.19–21.
4. Леменовский Д.А., Шемаханская М.С., Брусова Г.П. Новое в реставрации металла // Материалы VI международной научно-практической конференции «Сохранение, консервация, реставрация и экспертиза музейных памятников». Киев, 2008. Т.2. С.70–75.

Равенство полов по X-хромосоме

С.В.Павлова, А.И.Шевченко, С.М.Закиян

Хорошо известно, что у млекопитающих пол определяется сочетанием половых хромосом X и Y. Две X-хромосомы присутствуют у самок, а X и Y — у самцов. Хромосома Y произошла от хромосомы X, «растеряв» в ходе эволюции около 90% предковых генов и аккумуляировав специфические гены развития мужских признаков*. Таким образом, в клетках самок млекопитающих генов X-хромосомы в два раза больше, чем у самцов. Такое неравенство можно исправить двумя способами — отключить у самок половину X-хромосомных генов или заставить гены X-хромосомы самцов работать вдвое активнее.

Первый путь компенсации дозы генов X-хромосом у млекопитающих всегда казался более вероятным. Изучать его начали еще 50 лет назад, когда в 1949 г. в интерфазных ядрах нейронов самок кошек обнаружили специфические образования, названные впоследствии тельцами Барра (в честь открывшего их М.Л.Барра). В 1959 г. С.Оно с коллегами пришли к заключению, что тельце Барра формируется одной из X-хромосом, а еще через два года М.Лайон высказала ключевую гипотезу: у самок одна из двух X-хромосом выключается, чтобы сбалансировать дозу

* О Y-хромосоме см.: Попадьин К.Ю., Мамирова Л.А. Судьба одинокой хромосомы // Природа. 2004. №9. С.11–16; Животовский Л.А. Одиссея мужской хромосомы // Природа. 2009. №2. С.48–55.



Софья Викторовна Павлова, кандидат биологических наук, сотрудник лаборатории эпигенетики развития Института цитологии и генетики СО РАН. Занимается проблемой формирования неактивного хроматина в эмбриогенезе.



Александр Игоревич Шевченко, кандидат биологических наук, сотрудник той же лаборатории. Занимается эпигенетическими аспектами развития млекопитающих, проблемой эволюции центра инактивации X-хромосомы у сумчатых.



Сурен Минасович Закиян, доктор биологических наук, заведующий той же лабораторией, профессор Томского государственного университета. Изучает феномен неслучайной инактивации у межвидовых гибридов обыкновенных полевых.

активных генов по сравнению с самцами. В качестве доказательства Лайон привела известный факт, что для нормального развития мышей достаточно активности только одной X-хромосомы, поскольку животные

с генотипом X0 — фенотипически нормальные фертильные самки [1, 2]. В этой статье мы попытаемся подвести предварительные итоги полувековых исследований выключения X-хромосомы у самок.

Как выключаются X-хромосомы

Установлено, что во всех клетках самок млекопитающих одна из двух родительских X-хромосом инактивируется в раннем эмбриональном развитии. Это приводит к одинаковой дозе генов у самок и самцов. В соматических клетках такой процесс происходит случайно, затем неактивное состояние клонально наследуется [2, 3].

Наглядной иллюстрацией случайного характера инактивации X-хромосомы служат «черепаховые» кошки (рис.1). Окраску их шерсти определяют два базовых пигмента: феомеланин (рыжий) и эумеланин (черный и его производные). Ген рыжей окраски шерсти «O» (оранж) присутствует на X-хромосоме. Если он активен, то меланин переходит в феомеланин — «рыжий» пигмент. Если ген оранж не работает (обозначается символом «o»), меланин существует в форме эумеланина и проявляется черный или агутти цвет шерсти. Кошка, у которой одна X-хромосома несет ген «O», а другая — нерыжий ген «o», имеет и рыжий пигмент, и черный. Так как X-хромосома выключается на самых ранних

этапах развития случайно, каждая пигментная клетка, размножаясь, формирует пятно или рыжего, или нерыжего меха — получается пятнистая «черепаховая» окраска.

Выключение одной X-хромосомы совпадает с моментом прикрепления бластоцисты к стенке матки, и потому изучать этот процесс *in vivo* практически невозможно. Здесь прекрасной моделью может быть культура стволовых клеток, полученных из эмбриональных клеток бластоцист. Дело в том, что дифференцировка эмбриональных стволовых клеток (у которых активны обе X-хромосомы) в соматические (одна активная X-хромосома) сопровождается инициацией случайного выключения X-хромосомы. Хотя наши знания о механизме X-инактивации у млекопитающих в основном базируются на данных, полученных при изучении эмбриональных стволовых клеток, по имеющимся косвенным свидетельствам, в живом организме этот процесс протекает аналогично [3].

Инактивированная X-хромосома плотно упакована и генетически неактивна на протяжении всего клеточного цикла. Гены одной из X-хромосом вы-

ключаются благодаря упаковке ее ДНК в «кокон», который состоит из специфических белков и РНК и под микроскопом виден как тельце Барра (рис.2). Такая плотно упакованная структура физически препятствует работе генов, закодированных в неактивной X-хромосоме (Xi). Кроме того, в ДНК этой хромосомы вводятся метильные группы, которые сигнализируют системам клетки, что гены выключены. При делении клеток хромосома Xi удваивается (реплицируется) позже, чем все остальные хромосомы (аутосомы и активная X-хромосома).

Одновременно с репликацией ДНК хромосомы Xi копируются ее метильные «метки», и неактивная структура хроматина, сформированная на ранних стадиях развития, восстанавливается, т.е. неактивное состояние генов наследуется. Таким образом, установившись однажды в эмбриогенезе, неактивное состояние хромосомы Xi передается дочерним клеткам во всех последующих клеточных генерациях [4]. Реактивировать X-хромосому можно, обработав ее жесткими деметилирующими агентами. Так поступают, например, при клонировании животных.

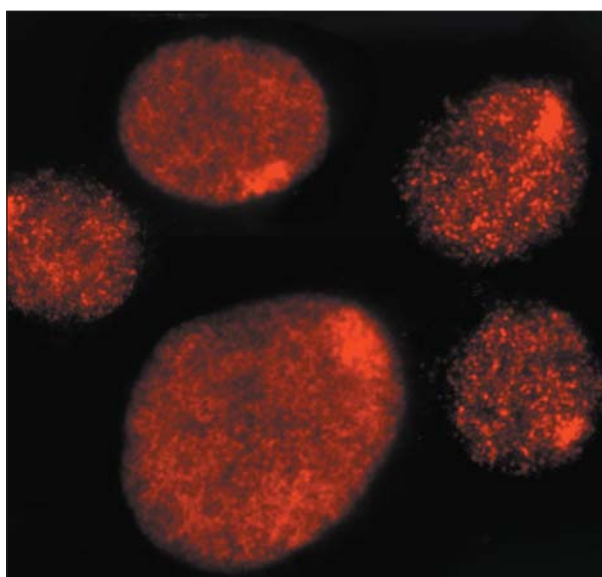
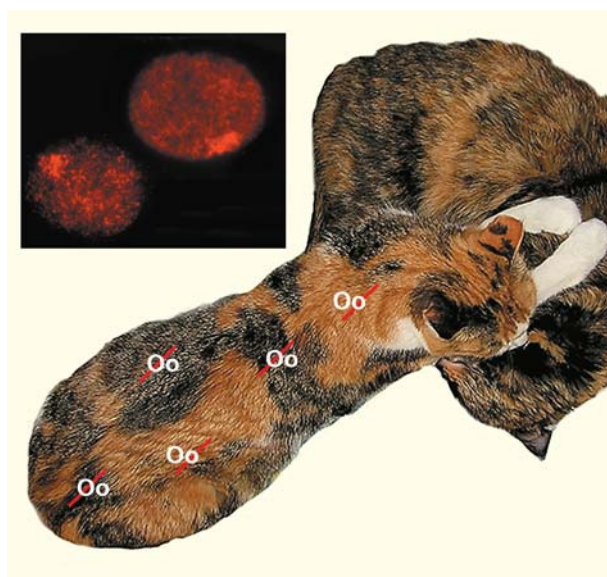


Рис.1. Черепаховые кошки. Пятно черной шерсти свидетельствует об инактивации аллеля «O» в составе X-хромосомы. Вверху — тельце Барра. Справа — клеточное ядро самки, в котором неактивная хромосома видна как тельце Барра.

Центр инактивации

В процессе эволюции у плацентарных млекопитающих на X-хромосоме появился уникальный генетический элемент — центр инактивации *Xic* (*X inactivation centre*), который отвечает за координированное выключение генов по всей X-хромосоме. Его существование предсказали С. Растан с соавторами в 1963 г. Основанием для их предположения послужил тот факт, что при встраивании некоторых фрагментов X-хромосомы в неполовые хромосомы гены, примыкающие к месту интеграции, выключались. Видимо, такая «гибридная» хромосома, несущая центр инактивации *Xic*, воспринимается клеткой как еще одна X-хромосома и учитывается при «расчете» дозы генов [2–4].

Центр инактивации *Xic* содержит ряд генов, один из которых, *Xist* (*X-inactive specific transcript*), кодирует функциональную РНК, ответственную за выключение генов на ранних этапах инактивации. Рядом с ним расположен его антипод — ген *Tsix*, подавляющий активность гена *Xist*. Оба гена частично перекрываются между собой (каждая цепь участка двуцепочечной

ДНК несет свою информацию), что отражено в названии последнего — *Tsix*, это *Xist* наоборот. У мышей в непосредственной близости от гена *Tsix* находится ген *Xite*. Он — усилитель (энхансер) гена *Tsix* и потому тоже участвует в подавлении гена *Xist*. Район *Tsix/Xite* служит местом контакта X-хромосом непосредственно перед началом инактивации. Другая точка контакта находится на границе центра *Xic* в области гена *Xpct*, который условно обозначается как *Xpr* (*X pairing*). Между этими двумя контактами расположен ген *Xist*, который в спаривании X-хромосом не участвует [3, 5].

В ходе изучения центра инактивации X-хромосомы мыши выяснилось, что если в X-хромосоме повредить или удалить ген *Xist*, она всегда будет активной, а если не работает ген *Tsix*, X-хромосома всегда инактивируется даже в клетках X0 и XY. У самок при повреждении гена *Tsix* (или *Xite*) в одной из X-хромосом выключается преимущественно дефектная хромосома. Наконец, если на обеих X-хромосомах удалить участок *Tsix/Xite*, происходит хаотическая инактивация: в таких клетках присутствует либо активная, либо неактивная X-хромосома,

обе активные или обе неактивные. Скорее всего, это связано с нарушением функции спаривания центров инактивации. И в заключение следует отметить, что любые делеции и вставки, ослабляющие ген *Tsix* и его запирющее влияние на ген *Xist*, а также усиливающие ген *Xist*, приводят к преимущественной инактивации мутантной X-хромосомы [6].

Классические объекты изучения X-инактивации — мышь и человек. Объектами наших исследований стали обыкновенные полевки рода *Microtus* группы *arvalis*. Виды этой группы настолько эволюционно близки, что скрещиваясь между собой, дают жизнеспособное потомство. Выяснилось, что у самок некоторых гибридов, полученных при скрещивании вида *M. arvalis* с другими представителями группы, в 80% клеток активна X-хромосома вида *M. arvalis* [7]. Этот феномен и послужил толчком для систематического изучения выключения X-хромосомы у обыкновенных полевок.

Исследуя структуру центра инактивации *Xic* обыкновенных полевок, мы обнаружили, что она отличается от центра *Xic* мыши и человека (рис.3). У мыши некоторые функцио-

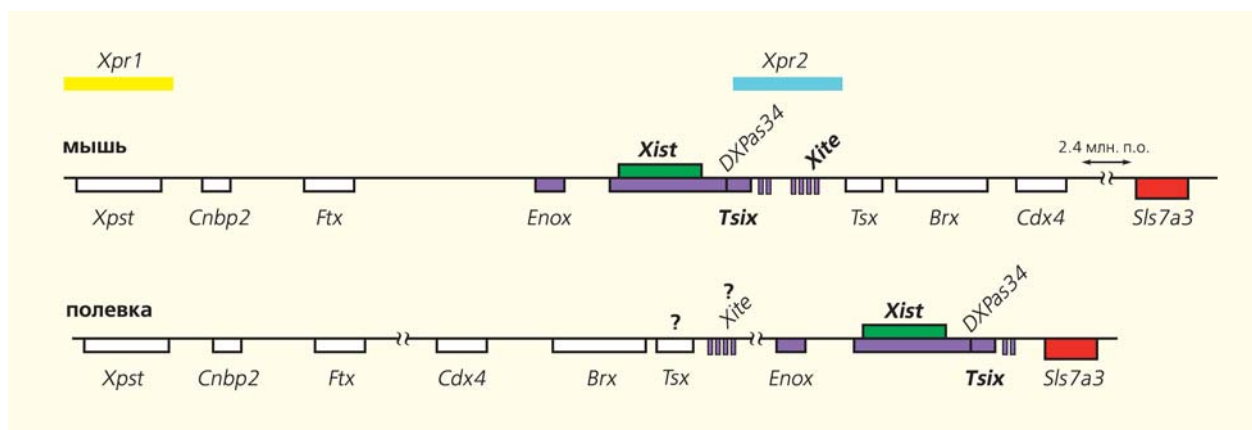


Рис.3. Центр инактивации *Xic* X-хромосомы мыши и полевки. У мыши он содержит около 600 тыс. пар нуклеотидов (X-хромосома — 140 млн пар нуклеотидов). Гены *Ftx*, *Enox*, *Xist*, *Tsix*, *Xite* кодируют функциональные РНК. Из них три последние гена и район *DXPas34* участвуют в X-инактивации. Районы *Xpr1* и *Xpr2* отвечают за контакт X-хромосом. У полевок центр инактивации определен частично. Видно, что он значительно перестроен. В области гена *Tsix* отсутствует ген *Xite* и выявляется ген *Sls7a3*, который у мыши и человека не входит в состав центра (располагается от него на расстоянии 2.5 млн пар оснований).

нальные элементы расположены в непосредственной близости от пары *Xist/Tsix*, а у полевки они либо значительно удалены, либо отсутствуют. Их место занимают другие гены, которые не входят в состав центра *Xic* мыши и находятся совсем в другой части X-хромосомы [8]. Значит, не все генетические элементы центра инактивации важны для его функционирования либо они способны влиять на процесс издалека. Полученные данные в дальнейшем позволят установить более тонкое соответствие между генами из центра *Xic* и их влиянием на выключение X-хромосомы как у полевок, так и у млекопитающих в целом.

Механизм инактивации

В недифференцированных эмбриональных стволовых клетках мыши на обеих X-хромосомах активно функционирующий ген *Tsix* подавляет активность гена *Xist* до уровня 3–5 копий РНК на клетку. При дифференцировке этих клеток X-хромосомы взаимодействуют между собой, и на будущей неактивной X-хромосоме один аллель гена *Tsix* выключается. В результате

продуктивность гена *Xist* возрастает примерно в 8–10 раз, и в центре инактивации будущей неактивной X-хромосомы накапливается его РНК [3, 4], что приводит к выключению генов (рис.4). На другой X-хромосоме ген *Tsix* не репрессируется, и она остается активной.

Пока неясно, как РНК *Xist* распространяется вдоль всей хромосомы. Существующая модель «остановки в пути» предполагает наличие «пересадочных станций», на которых усиливается сигнал инактивации. Дело в том, что перенос центра *Xic* на аутосомы никогда не выключает хромосому целиком, лишь ее части. Создается впечатление, что на аутосомах сигнал затухает. В настоящее время уже известны полные последовательности ДНК многих видов животных — грызунов, копытных, приматов. Внутривидовой и межвидовой анализ показал, что в ДНК X-хромосомы присутствует больше повторяющихся генетических элементов определенного класса LINE (Long Interspersed Nuclear Element), чем в ДНК аутосом. Сегодня эти элементы, распределенные вдоль всей X-хромосомы, считаются наиболее вероятными кандидатами на роль усилителей инактивации.

В первые 48 ч с начала дифференцировки эмбриональных стволовых клеток наличие РНК *Xist* служит необходимым и достаточным условием для молчания генов. Но в этот период инактивация обратима, и при выключении гена *Xist* гены X-хромосомы реактивируются.

Первичное *Xist*-зависимое неактивное состояние генов закрепляется стандартными приемами выключения генов, характерными для всего генома. На участках хромосомы, где присутствует РНК *Xist*, формируется структура неактивного хроматина, имеющая специфические для гетерохроматина ковалентные модификации гистонов, неканонические варианты гистонов и негистоновые белки. Неактивное состояние X-хромосомы поддерживается в ряду клеточных поколений и уже не зависит от РНК гена *Xist*, хотя та по-прежнему присутствует. После метилирования оснований ДНК наступает полная и необратимая инактивация [4, 9].

В инактивации X-хромосомы существует некоторое «счетное» правило, согласно которому на один геном должна остаться одна активная X-хромосома (на два генома — две). Например, в человеческой популя-

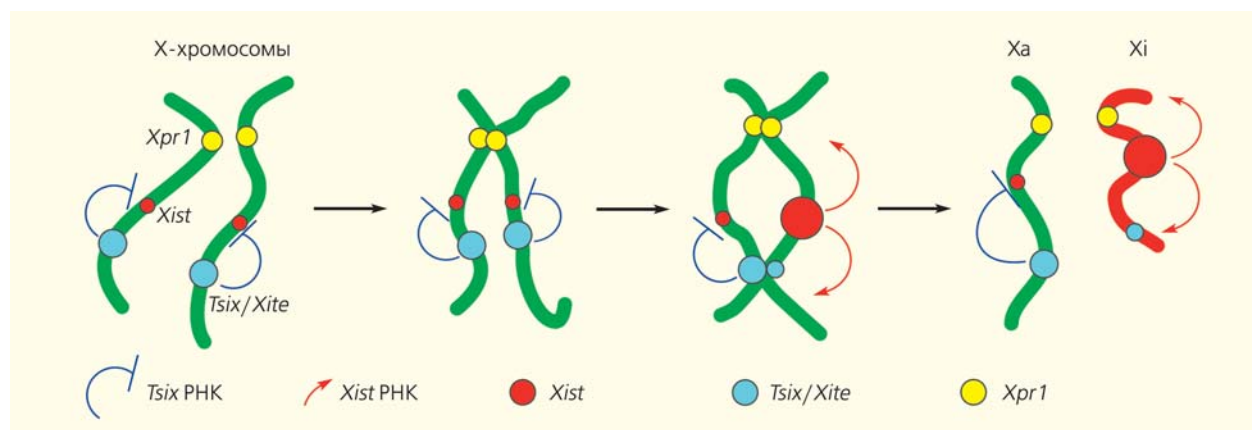


Рис.4. Инактивация X-хромосомы в системе эмбриональных стволовых клеток мыши. В недифференцированных эмбриональных стволовых клетках на X-хромосомах ген *Tsix* активен, подавляет экспрессию *Xist* до уровня двух-трех копий РНК на клетку. При дифференцировке этих клеток участки *Xpr1* и *Tsix/Xite* центров *Xic* двух X-хромосом последовательно взаимодействуют, в результате чего определяется судьба каждой X-хромосомы. На будущей неактивной Xi выключается ген *Tsix* и сверхактивируется ген *Xist*. Распространение РНК *Xist* приводит к инактивации генов. На будущей активной хромосоме Xa продолжается экспрессия гена *Tsix*.

ци иногда встречаются мужчины с двумя X-хромосомами (синдром Клайнфельтера) или женщины с тремя — у всех у них активна только одна X-хромосома. Как происходит учет/подсчет X-хромосом (*Xic* центров) клеткой — до конца не ясно. Скорее всего, в определении количества активных X-хромосом принимают участие аутосомы. Недавно была предложена модель обратной связи, которая логично описывает случайность выбора и объясняет, почему все, кроме одной активной X-хромосомы, выключаются [6]. Суть этой гипотезы заключается в том, что активные X-хромосомы производят некоторый фактор (назовем его «А»), количество которого учитывается аутосомами. Если фактор «А» поступает от двух и более X-хромосом, то аутосомы, в свою очередь, синтезируют фактор «И», который связывается с центром инактивации на X-хромосоме и запускает ее выключение. Инактивации единственной активной X-хромосомы не происходит, поскольку производимого ею количества фактора «А» недостаточно для выработки сигнала «И» (рис.5).

Выбор активной хромосомы

При вступлении клеток в дифференцировку происходит контакт центров инактивации X-хромосом в области *Xpr* и *Tsix/Xite*. X-хромосомы начинают продуцировать сигнал «А», который поступает на аутосомы, вызывая синтез факторов инактивации «И» (рис.4). Они кооперативно (присоединение одного «И» облегчает присоединение следующего) связываются друг с другом и с районом *Tsix/Xite*. Поскольку на ранней стадии дифференцировки стволовых клеток эти участки сближены, там формируется двойной пул факторов «И». Затем они количественно и случайно оттягиваются к одному из двух районов *Tsix/Xite* и отключают его. Ген *Xist* на этой X-хромосоме больше не блокируется, его экспрессия достигает полной силы, и X-хромосома выключается. Компьютерное моделирование процесса показало возможность такого развития событий. В случае трех и более X-хромосом на геномный набор аутосом происходит последовательная инактивация X-хромо-

сом, и процесс выключения нескольких X-хромосом занимает несколько клеточных поколений. В промежутке времени от начала дифференцировки таких клеток до инактивации всех X-хромосом, кроме одной, можно наблюдать разное соотношение *Xa/Xi* активных и неактивных X-хромосом на клетку [6].

Влияние известных делеций и вставок в районе центра инактивации *Xic* прекрасно укладывается в рамки предложенной модели. Например, повреждение района *Tsix/Xite* ослабляет блокирующие действия, и поэтому требуется меньше фактора «И» для его отключения. В итоге наблюдается нарушение случайного выбора — смещение в пользу X-хромосомы с более слабым аллелем *Tsix/Xite* [6].

Данные, полученные в нашей лаборатории, также не противоречат предложенной модели. Мы показали, что регуляторные районы генов *Tsix* разных видов полевок отличаются: у полевок *Marvalis* там отсутствуют точки связывания негативного фактора CTCF, а у других видов в этом районе их по восемь-девять [9]. Другими словами, одна из причин преимущественной актив-

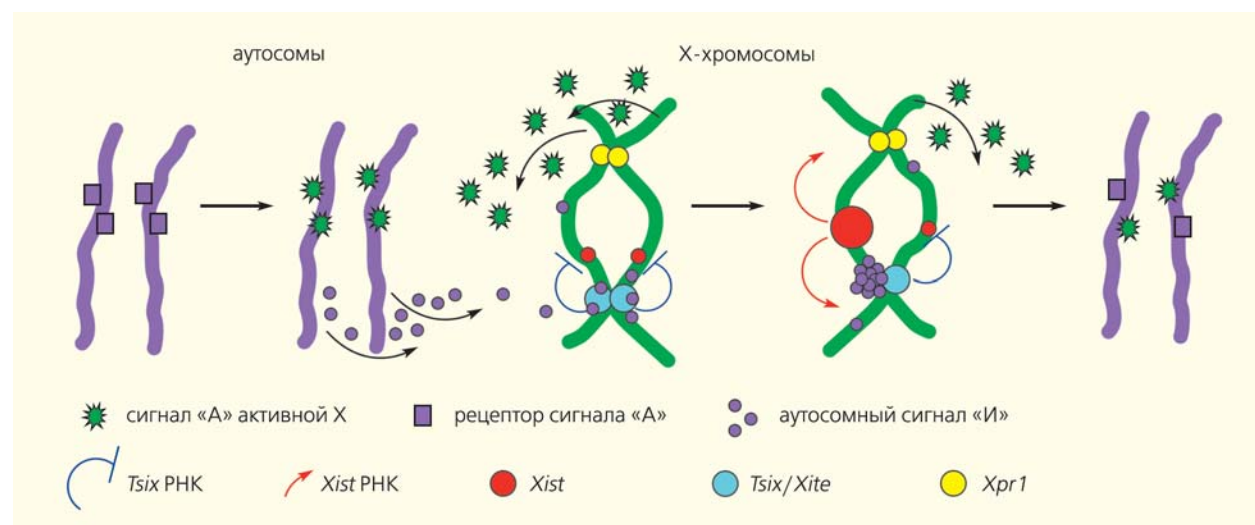


Рис.5. Модель «обратной связи» при X-хромосомной инактивации [6]. Активные X-хромосомы продуцируют транскриптивный сигнал «А», который насыщает специфические сайты аутосом, и они производят пул сигналов инактивации «И». Сигналы связываются друг с другом и блокируют локус *Tsix/Xite*. В отсутствие РНК-продукта гена *Tsix* активируется *Xist*, и начинается выключение. Сигналов «А» от одной активной X-хромосомы недостаточно для выработки сигнала инактивации «И».

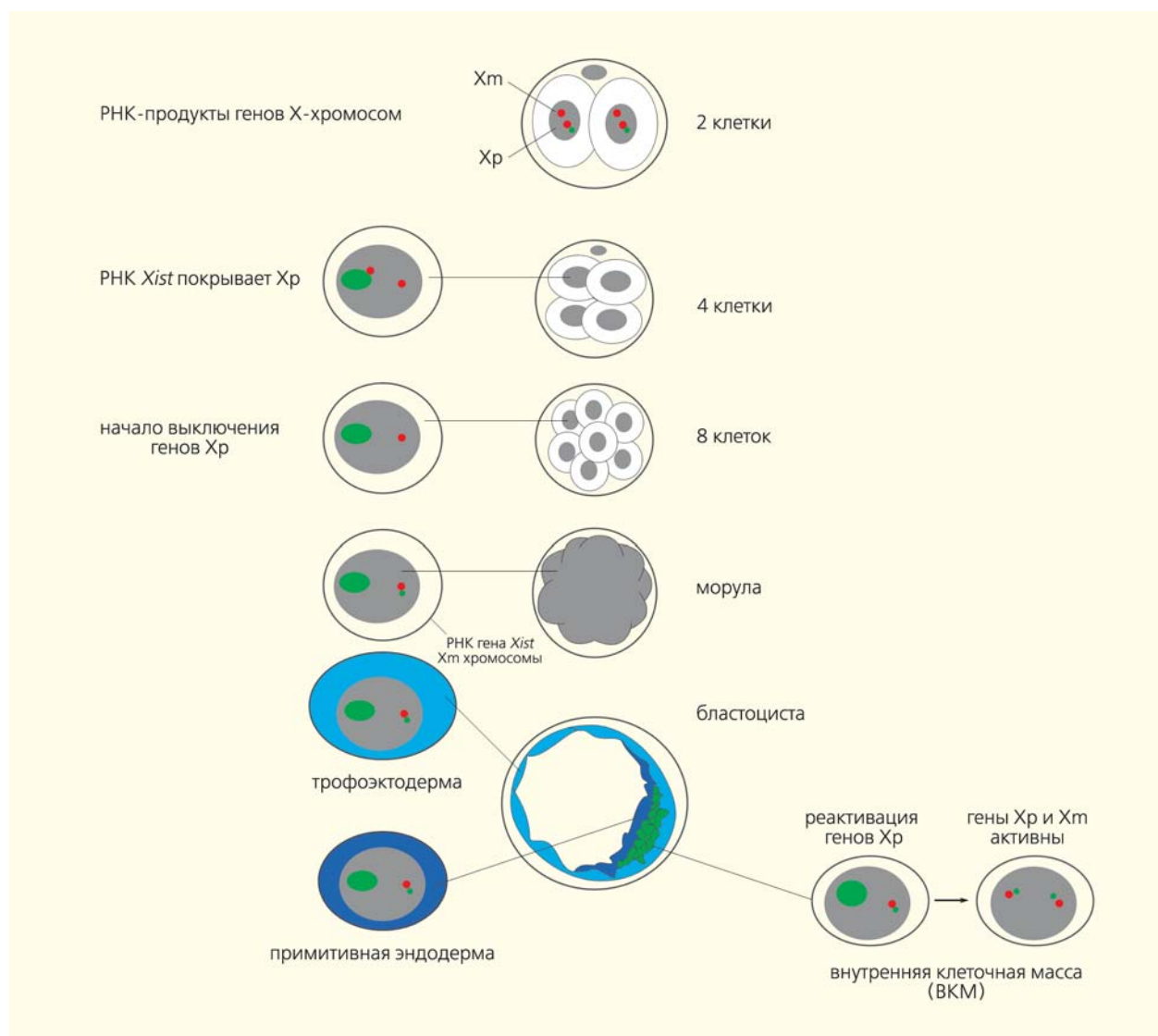


Рис.6. Инактивация X-хромосомы в эмбриогенезе мыши *M.musculus*. На стадии двух и четырех клеток активны гены обеих X-хромосом (красный сигнал). На стадии четырех клеток на отцовской хромосоме Xp начинается синтез РНК гена *Xist* (зеленый сигнал). На стадии восьми клеток эта РНК распространяется вдоль отцовской X-хромосомы, вызывая инактивацию генов. На стадии морулы на материнской хромосоме Xm начинается транскрипция на слабом уровне гена *Xist*. На стадии бластоцисты клетки разделяются на питающие экстраэмбриональные (трофобластодерма, примитивная энтодерма) и эмбриональные клетки (ВКМ), в которых гены отцовской хромосомы реактивируются и уровень транскрипции гена *Xist* снижается до уровня Xm. Далее эмбрион имплантируется в стенку матки, и одна из родительских X-хромосом случайно инактивируется.

ности X-хромосомы *M.arvalis*, возможно, в том, что она имеет более сильный аллель *Tsix*, запирающий ее инактивацию.

С другой стороны, регуляторный район гена *Xist* полевки *M.arvalis* содержит сайт связывания негативного фактора CTCF, который у полевок других видов отличается на один нуклеотид. Благодаря этой единст-

венной нуклеотидной замене негативный фактор CTCF охотнее связывается именно с этим сайтом, уменьшая активность гена *Xist* вместе с вероятностью выключения несущей его X-хромосомы.

У мышей, полевок и, возможно, других грызунов выключение генов X-хромосомы начинается на стадии 2–8 клеток. Особен-

ность X-инактивации на этой стадии состоит в том, что выключается исключительно отцовская X-хромосома (рис.6). Имеются данные, что, хотя в это время РНК гена *Xist* активно нарабатывается на отцовской X-хромосоме, ее присутствие может быть необязательным для выключения генов [10]. Возможно, здесь проявляются отголоски

эволюционно более древнего механизма выключения, который до сих пор имеет место у сумчатых млекопитающих: у них отсутствует центр *Xic* и ген *Xist* и выключается только отцовская X-хромосома. С другой стороны, совершенно четко показано, что у мышей X-хромосома, пришедшая от матери в составе ооцита, не может быть инактивирована в клетках предимплантационного эмбриона и в клетках тканей, питающих эмбрион (например, плаценты). Это связывают с тем, что на материнской X-хромосоме мыши и полевки активно работает ген *Tsix*, подавляющий инактивацию [3].

В ходе эмбрионального развития на стадии бластоцисты в клетках внутренней клеточной массы, из которых впоследствии разовьется организм, гены отцовской хромосомы вновь включаются. Тогда наступает «вторая волна» инактивации, случайная, — выключается либо отцовская, либо материнская хромосома независимо от происхождения. В экстраэмбриональных (формирующих пла-

центу и т.д.) клетках бластоцисты, которые будут отвечать за питание и рост эмбриона, отцовская X-хромосома так и остается неактивной [3, 4].

У обыкновенных полевок с помощью биохимических маркеров установлено, что в экстраэмбриональных тканях выключаются гены отцовской X-хромосомы. Однако было неясно, связано ли это со специфической для каждого родителя активностью генов *Xist* и *Tsix* [7]. Теперь мы точно знаем, что в экстраэмбриональных тканях полевок и мыши ген *Tsix* активен на материнской X-хромосоме, а ген *Xist* — на отцовской. Такая закономерность, видимо, характерна для грызунов и обуславливает неслучайную инактивацию отцовской X-хромосомы в экстраэмбриональных тканях [11].

Как стало известно совсем недавно, активная X-хромосома у самок и самцов работает в два раза интенсивнее, чем аутосомы! Сверхэкспрессия генов X-хромосом происходит практически сразу после оплодо-

творения. Активация отцовской X-хромосомы начинается с «нулевого» уровня, поскольку в целом отцовский геном в составе сперматозоида не работает и его экспрессия восстанавливается только после попадания в ооцит. В ооците материнская X-хромосома активна на уровне аутосом, но после слияния со сперматозоидом активность ее резко возрастает [12].

Что же приводит X-хромосомы к мгновенной активации? Какие факторы увеличивают активность генов на уровне целой хромосомы и как это происходит — темы не одного исследования дозовой компенсации у высших млекопитающих. С одной стороны, в клетках самцов по две аутосомы и единственная X-хромосома, работающая «за двоих» для компенсации дозы генов до уровня аутосом. С другой стороны, у самок две X-хромосомы, которые работали бы как четыре, если бы не инактивация одной из них, приводящая к выравниванию дозы генов между аутосомами так же, как и между полами. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 02-04-49321, 06-04-48337 и 04-04-48045а) и ИНТАС (проект 03-51-5908).

Литература

1. *Lyon M.F.* // Nature. 1961. V.190. P.372—373.
2. *Нестерова Т.Б., Закиян С.М.* // Генетика. 1994. Т.30. С.293—317.
3. *Heard E., Distèche C.M.* // Genes & Dev. 2006. V.20. P.1848—1867.
4. *Шевченко А.И., Павлова С.В., Дементьева Е.В.* // Генетика. 2006. Т.9. С.1225—1235.
5. *Augui S. et al.* // Science. 2007. V.318. P.1632—1636.
6. *Stamer J., Magnuson T.* // Development. 2009. V.136. №1. P.1—10.
7. *Закиян С.М., Кульбакина Н.А., Серов О.Л.* // ДАН СССР. 1984. Т.278. №6. С.1477—1478.
8. *Nesterova T.B., Slobodyanyuk S.Y., Elisaphenko E.A.* // Genome Research. 2001. V.11. P.833—849.
9. *Shevchenko A.I., Pavlova S.V. et al.* // Mamm Genome. 2009.
10. *Kalantry S., Purushothaman S. et al.* // Nature. 2009. V.460. №7255. P.647—651.
11. *Grigor'eva E.V., Shevchenko A.I. et al.* // PLoS One. 2009. V.4. №9. e7161.
12. *Nguyen D.K., Distèche C.M.* // Nat. Genet. 2006. V.38. P.47—53.

Под защитой сильного соседа

А.В.Кречмар

Взаимоотношения между хищником и жертвой в дикой природе интересуют ученых испокон веков. Не вдаваясь в анализ многочисленных публикаций на эту тему, поделюсь лишь собственными наблюдениями в северных упрощенных экосистемах — тундре и лесотундре, где эти взаимоотношения особенно наглядны. За многие десятилетия экспедиционных работ на севере и северо-востоке Сибири мне довелось наблюдать разные, порой весьма изощренные, способы выживания и успешного размножения птиц в условиях постоянного присутствия хищников.

В Арктике и Субарктике большинство видов птиц гнездится на земле или невысоко над ней, поэтому их гнезда легко доступны четвероногим хищникам — прежде всего песцу (*Alopex lagopus*) и лисице (*Vulpes vulpes*). Они питаются в основном мелкими грызунами (например, леммингами), однако в годы с низкой их численностью (как это было, например, в 1982 г. на побережье Анадырского залива) кочующие неразмножающиеся песцы выедают все живое на огромных территориях.

Покушаются на гнезда не только четвероногие, но и пернатые разбойники: в тундре — поморники (*Stercorarius* sp.), серебристая чайка (*Larus argentatus*), бургомистр (*L.hyperboreus*) и т.д., а в более южных регионах — ворон (*Corvus corax*), во-



Арсений Васильевич Кречмар, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории орнитологии Института биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан). Область научных интересов — экология и мониторинг птиц (в основном пластинчатоклювых) на северо-востоке Сибири.

рона (*Corvus corone*) и сорока (*Pica pica*).

Безусловно, существуют пассивные способы защиты гнезд от хищников — прежде всего покровительственная окраска яиц и оперения у насиживающих их птиц, тщательная маскировка гнезд и некоторые другие адаптации, выработавшиеся в длительном процессе эволюции. Однако хищные птицы, такие, как сокол-сапсан (*Falco peregrinus*) и белая сова (*Nyctea scandiaca*), активно защищают свои гнезда. Эти птицы способны отогнать любого врага, появившегося в радиусе 100–150 м. Очень впечатляют атаки соколов и на приближающегося к гнезду человека: птица, пикирующая со значительной высоты, со свистом рассекаемого воздуха и характерным криком проносится буквально на расстоянии вытянутой руки. Хотя до прямого контакта с челове-

ком дело обычно не доходит, песцы и пернатые мародеры не рискуют появляться вблизи гнезда сапсана. Белые совы не всегда ограничиваются демонстрацией угрозы, и порой от их острых когтей человека может спасти только теплая куртка или меховая шапка, причем птица обычно нападает сзади, внезапно, уловив момент, когда на нее не смотрят. Интересно, что степень агрессивности и белых сов, и сапсанов в значительной мере зависит от индивидуальных особенностей птиц: в одних парах могут быть более активны самцы, в других — самки. Однако все они, как я заметил, менее агрессивны в годы с низкой численностью леммингов, и тогда на гнезда птиц покушаются даже песцы. Впрочем, в такие годы и сов гнездится немного [1].

Чрезвычайно агрессивны и защищающие свои гнезда поморники, крачки и чайки. Их

© Кречмар А.В., 2010



Песец. На долю этого хищника приходится львиная доля всех разоренных гнезд тундровых птиц.

Здесь и далее фото автора



Белая сова — «покровитель» нескольких видов водоплавающих птиц в период их гнездования и «основоположник» новых колоний белых гусей.

нападения обычно не могут причинить заметного вреда, но настойчивость, если не сказать настырность, с какой они преследуют нарушителя спокойствия, как правило, приводит к тому, что хищник ретируется. Особенно результативны нападения крачек и чаек, которые обычно гнездятся колониями и отгоняют врага, что называется, всем миром.

Пытаются защищать свои гнезда и крупные гусеобразные птицы, у которых, в отличие от уток, о потомстве заботятся оба родителя, причем самец несет сторожевую функцию. Но если наиболее крупным птицам этой группы — лебедям (*Cygnus* sp.) и гуменнику (*Anser fabalis*) — еще удастся отстоять свои гнезда от песцов и даже лисиц, то более мелкие гуси и особенно казарки могут отбиться только от пернатых мародеров. Поэтому неудивительно, что некоторые птицы, чтобы сохранить свое потомство, устраиваются вблизи гнезд хищных птиц или среди колоний крачек и чаек, причем нередко соседствуют даже с такими известными разорителями гнезд, как серебристая чайка и бургомистр. Некоторые виды птиц иначе как под «покровительством» хищника и не гнездятся. Из таких видов, к примеру, — краснозобая казарка (*Branta ruficollis*). В свое время Б.М.Житков обнаружил совместное гнездование этого небольшого пестроокрашенного гуся и сокола-сапсана на п-ове Ямал, а С.П.Наумов — в тундрах Гыданского п-ова [2, 3]. Во время экспедиций на Западном Таймыре в бассейне р.Пясины я неоднократно встречал гнезда краснозобых казарок как вблизи гнезд сапсанов, так и среди колоний серебристых чаек и бургомистров, освоивших скалистый остров в низовьях р.Пуры, а однажды и рядом с гнездом мохноногого канюка (*Buteo lagopus*) [4]. Но ни разу мне не приходилось видеть отдельно расположенных гнезд казарок, хотя я осмотрел их не один десяток. Зачастую они уст-

раиваются в 50—100 м от гнезд хищников, а то и ближе. Одно из гнезд краснозобой казарки, обнаруженное в июле 1961 г. на береговом обрыве низовьев р.Лыдики, на площадке глинистого гребня, находилось всего в полутора метрах от гнезда сапсана. Обычно рядом с каждым гнездом этого сокола держится от двух до пяти пар гнездящихся казарок и еще около десятка и даже более неразмножающихся особей. Не было случая, чтобы сапсан напал на соседствующих казарок; не удалось обнаружить около его гнезда даже кости или перья гусей других видов. Объясняется это тем, что, во-первых, соколы в тундрах охотятся в основном на ржанок и других куликов, а также белых и тундряных куропаток, а во-вторых, стереотип поведения хищника вблизи гнезда направлен прежде всего на его защиту, а не на добывание пищи.

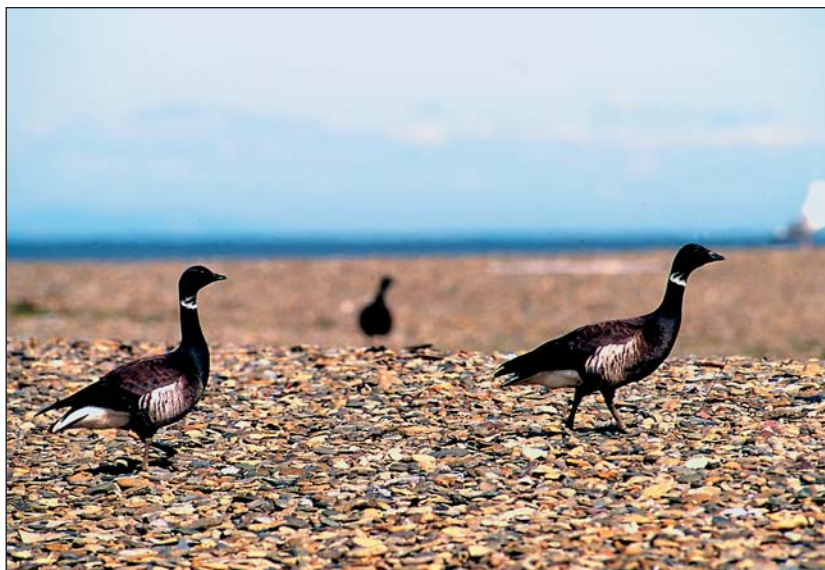
В компании серебристых чаек или бургомистров жизнь краснозобых казарок, как мне кажется, не столь безопасна. Хотя, по моим наблюдениям, вспуг-



Сокол-сапсан — хищник, около гнезд которого в тундре охотно гнездятся краснозобые казарки и некоторые другие виды гусей.



Скалистый остров в низовьях р.Пуры, на Западном Таймыре. Здесь краснозобые казарки гнездились среди колонии серебристых чаек.



Тихоокеанские черные казарки среди колонии серебристых чаек и бургомистров в Анадырском лимане.



Речная крачка. В колониях этих птиц в лесотундре и северной тайге находят защиту от хищников многие водоплавающие и другие птицы.

нутые с гнезд чайки после возвращения не разорвали гнезда краснозобых казарок, их поведение меня насторожило. Дело в том, что насиживавшие кладки краснозобые казарки подпускали человека вплотную и покидали гнезда чрезвычайно неохотно, часто только после того как до них дотрагивались руками. Мои предположения подтвердились после наблюдений за дру-

гим видом гусей — тихоокеанской черной казаркой (*B. bernicla nigricans*), которая тоже часто гнездится рядом с хищными птицами и в колониях крупных чаек. За четыре сезона экспедиционных работ на о. Врангеля мне ни разу не случилось находить гнезд черных казарок вдали от гнезд белой совы. Сходными наблюдениями располагают и другие орнитологи, многие го-

ды работавшие на о. Врангеля [5]. Известно лишь одно исключение, когда черные казарки устроили гнезда отдельно — на островках среди тундрового озера на значительном удалении от берега [6]. Как и краснозобые казарки, соседствующие с сапсаном, черные казарки селятся обычно в пределах сотни метров от гнезда совы, а чаще — значительно ближе. Около одного гнезда совы можно найти от двух до пяти гнезд казарок, но иногда и более десятка. В годы с низкой численностью леммингов, когда подавляющее число белых сов не гнездится вообще, не гнездятся и черные казарки. При обилии пищи и соответственно массовом гнездовании сов на острове они не обращают никакого внимания на гнездящихся даже в непосредственной близости от их гнезд черных казарок и других водоплавающих птиц.

В материковых тундрах, где в отличие от о. Врангеля нет постоянной гнездовой популяции белых сов (эта птица гнездится на материке нерегулярно — только в годы изобилия леммингов и полевков), черные казарки гнездятся исключительно в приморских низинах. Там многочисленны мелководные озера, острова и мысы которых облюбовали серебристые чайки, бургомистры, вилохвостые чайки (*Xema sabini*) и полярные крачки (*Sterna paradisaea*). Иногда черные казарки выбирают и незаливаемые приливами морские косы: к примеру, на косе Стрела в южной части Анадырского залива была отмечена целая колония в несколько десятков пар черных казарок, гнездящихся под защитой серебристых чаек и бургомистров [7]. Самые безопасные для черных казарок соседи — это полярные крачки и вилохвостые чайки, гнездящиеся на небольших островках. Эти птицы питаются мальками рыб и водными беспозвоночными и птичьих гнезд вообще не разоряют. Однако в компании этих мелких видов чайковых птиц казарки могут пострадать

от песцов: в годы снижения численности мышевидных грызунов голодные песцы уничтожают гнезда и казарок, и их «защитников». В такие сезоны уязвимы даже те казарки, которые поселились на островках тундровых озер вдали от берега. Гораздо надежнее от песца защищает присутствие серебристых чаек и бургомистров, однако эти крупные чайковые птицы сами не прочь полакомиться яйцами и гусятами. Несмотря на особенности поведения гнездящихся в таких колониях казарок (очень плотное насиживание, кратковременные отлучки для кормежки лишь на небольшое расстояние от гнезд и бдительность гусак), на таких гнездовых гибнет в разные годы 20—30% потомства [7]. И все же казаркам выгоднее гнездиться совместно с крупными чайками, так как они спасают от полного разорения песцами.

Говоря о гусях, гнездящихся «под защитой» хищных птиц, следует упомянуть и белого гуся (*Anser caerulescens*). Этот колониальный вид североамериканского происхождения не имеет покровительственной окраски и обычно гнездится крупными колониями, где высокая плотность гнездования гусей скрывает возможности маневров песцов и таким образом позволяет птицам достаточно эффективно защищать свои гнезда. Попытки белых гусей гнездиться одиночными парами или небольшими изолированными группами обычно обречены на неудачу из-за практически неизбежного разорения песцами. Если уж белые гуси оказываются вне большой гнездовой колонии, они, как правило, селятся вблизи гнезд белых сов. Так это делают, к примеру, черные казарки. На о.Врангеля вокруг одного гнезда совы зачастую можно увидеть от двух до пяти пар белых гусей, но в некоторых случаях их бывает несколько десятков и даже больше сотни. Такое гнездовье может приобрести самостоятельность и дать на-



Серебристые чайки. В их колониях охотно поселяются краснозобые и черные казарки, находя там надежную защиту от песцов.



Вилохвостая чайка. Вблизи ее гнезд на островках тундровых озер нередко поселяются черные казарки.

чало новой гнездовой колонии, независимой от совы. Получается, что иногда роль совы не только сводится к защите нескольких гнезд, но и способствует распространению и процветанию этого колониального вида гусей. В годы обилия леммингов белые совы никак не реагируют на белых гусей, даже поселившихся в непосредственной близости от их гнезда. Бо-

лее того, известен случай, когда гусыня подложила свое яйцо в гнездо белой совы и самка совы в дальнейшем его насиживала [8]. Правда, в годы с низкой численностью леммингов, когда привычная пища в дефиците, совы могут ловить гусят, а иногда нападают и на родителей. Я сам был свидетелем, как в июне 1978 г., когда леммингов на о.Врангеля было мало, самец бе-



Гнезда уток и крачек могут быть расположены вплотную.

лой совы поймал и начал разделять взрослого белого гуся менее чем в 500 м от своего гнезда. Да это и неудивительно, так как белые совы в зимний период, когда они ведут кочевую жизнь за пределами своего гнездового ареала, нередко полностью переключаются на питание птицами, например белыми куропатками. Охотно селятся вблизи гнезд хищников и другие северные гуси — белолобый (*Aalibifrons*) и гуменник, но это случается лишь эпизодически.

Существует довольно значительное количество видов птиц, в основном водоплавающих, для которых гнездование «под защитой» хищных или чайковых птиц хотя и не обязательно, но весьма привлекательно. Так, на том же о.Врангеля регулярно селится вблизи совиных гнезд обыкновенная гага (*Somateria mollissima*), причем часто в обществе черных казарок и белых гусей. Нередко гнезд гаг бывает больше, чем других птиц, ищущих у совы «защиты», — до 15—20 и более [5]. Замечу, обыкновенные гаги в целом приуроче-

ны к приморской равнинной тундре, гнездятся же обычно около гнезд белых сов в сухой холмистой тундре — порой в нескольких десятках километров от морского побережья. Из этого следует, что гнездование около совиных гнезд для гаг столь предпочтительно, что их не останавливает даже необходимость перемещения выводков с крошечными гагачатами на десятки километров в равнинную озерную тундру со всеми вытекающими опасностями. Впрочем, эти перекочевки выводков осуществляются вниз по течению ручьев и речек, что значительно облегчает перемещение пуховых птенцов.

Соседство сов защищает от песцов не только гнезда некоторых видов пластинчатоклювых. Мне неоднократно случалось наблюдать около гнезд белых сов спокойно кормящихся холостых черных казарок, обыкновенных гаг и белых гусей в период линьки маховых перьев (и поэтому потерявших способность к полету). Несомненно, что таким образом упомяну-

тые птицы были в какой-то мере застрахованы от внезапного нападения песцов.

В лесотундровых и северо-таежных экосистемах гнездование пластинчатоклювых птиц «под защитой» хищников если и бывает, то значительно реже и выражено не столь отчетливо. Мне известен только один достоверный случай такого гнездования, когда самка среднего крохалея (*Mergus serrator*) два года подряд устраивала свое гнездо под густейшим переплетением стволов и корней кедрового стланика в 50 м от гнезда белоплечего орлана (*Haliaeetus pelagicus*) и возле основания ствола высокой лиственницы, служившей постоянной присадой этому хищнику [7]. А вот гнездование разных птиц среди колоний и даже вблизи отдельных гнезд речной (*Sterna hirundo*) или полярной крачек (*S.paradisaea*) — весьма распространенное явление. Особенно охотно птицы гнездятся совместно с крачками и чайками в тех случаях, когда их гнездовья расположены на островах или выдаю-

щихся мысах лесотундровых озер. Например, летом 1960 г. вблизи небольшой колонии полярных крачек, расположенной на выдающемся мысу в северном конце оз.Пясино (Западный Таймыр), я нашел два гнезда пискульки (*Anser erythropus*). Около другой колонии полярных крачек, «усиленной» двумя гнездами серебристых чаек, на островке одного лесотундрового озера близ истоков р.Пясины гнездились целое сообщество птиц. Хотя сам островок был не более 50 м в длину и шириной около 15 м, помимо 10–15 гнезд крачек и двух гнезд чаек, там были обнаружены еще два гнезда пискульки, три — среднего крохала, девять — морянки (*Clangula hyemalis*) и одно — белохвостого песочника (*Calidris temmincki*). На небольшом обособленном островке, отделенном от основного острова крошечным проливом шириной в полтора-два метра, гнездилась белоклювая гагара (*Gavia adamsi*). Конечно, нет полной гарантии, что за короткий период моего пребывания на этом острове были обнаружены все имевшиеся там гнезда. На небольших островках в западной части оз.Кета, в отрогах плато Путорана, летом 1964 г. рядом с гнездами полярных крачек я находил гнезда морянки, синьги (*Melanitta nigra*), среднего крохала, мородунки (*Xenus cinereus*), галстучника (*Charadrius hiaticula*), белохвостого песочника, полярной овсянки (*Emberiza pallasi*) и овсянки крошки (*E. pusilla*). Примечательно, что при обследовании близлежащих островков, на которых крачек не было, гнезда упомянутых птиц встречались лишь единично или отсутствовали вовсе.

Особенно нагляден пример стремления птиц гнездиться в колонии речных крачек, которую я ежегодно обследовал в пойме среднего течения Анадыря с 1980 по 1990 г. Это гнездовье размещалось на небольшом (не более 0.2 га) полуострове пойменного озера. Там



Белый гусь лишен покровительственной окраски и поэтому уязвим для хищников. При гнездовании вне колонии поселяется «под защитой» белых сов или других хищных птиц.

ежегодно гнездились от 15 до 30 пар крачек и около 10–12 пар уток разных видов, преимущественно морской (*Aythya marila*) и хохлатой (*A. fuligyla*) чернетей, но встречались и гнезда американской синьги (*Melanitta americana*), морянки, шилохвости (*Anas acuta*) и свиязи (*Anas penelope*). Иногда там гнездились также мородунка, белохвостый песочник и чернозобая гагара (*Gavia arctica*). Полуостров соединялся с берегом озера довольно длинным узким низинным перешейком, заросшим низкорослой травянистой растительностью, по которому лисицы не решались проникнуть на территорию гнездовья, не желая связываться со стаей агрессивных крачек. За все годы исследований разоренных хищниками гнезд не было отмечено ни разу. Только однажды некоторый ущерб был нанесен этому гнездовью лосем, съевшим несколько кладок уток и крачек. В то же самое время на окружающих территориях гибли от ли-

сиц в разные годы от 20 до 70% гнезд водоплавающих птиц. Даже гнездование вблизи единично гнездящихся пар полярных крачек весьма привлекательно для многих птиц. В среднем течении Анадыря вблизи таких одиночных гнезд крачек я находил гнезда горбоносого турпана (*Melanitta deglandi*), морянки, свиязи, круглоносого плавунчика (*Pbalaropus lobatus*) и многих мелких воробьиных птиц.

Вблизи гнезд длиннохвостого (*Stercorarius longicaudus*) и короткохвостого (*S. parasiticus*) поморников, которые, в отличие от большинства других чайковых птиц, гнездятся только отдельными, изолированными одна от другой парами, тоже довольно охотно поселяются некоторые водоплавающие птицы. Оба этих поморника как правило очень агрессивны по отношению к любому хищнику, имеющему неосторожность приблизиться к их гнезду или птенцам. При этом явное предпочтение отдается соседству с длиннохво-

стым поморником, который питается в значительной степени насекомыми и не относится к таким злостным разорителям птичьих гнезд, как короткохвостый поморник. Работая в Среднеанадырской низменности, я неоднократно находил в радиусе 50—70 м от гнезд поморников гнезда шилохвостей, связей, морских чернетей и морянок, а в семи случаях — даже довольно редких там белолобых гусей. Однако инстинкт добывания пищи у поморников, по-видимому, не подавляется даже на ближайших к гнезду территориях, и гнездящимся там гусям и уткам приходится «держат ухом востро», при отлучках тщательно маскируя яйца выстилкой гнезда и стараясь не обнаруживать лишнего раз его месторасположение. У меня есть свидетельства опасности такого соседства для водоплавающих птиц: короткохвостые поморники разорили три гнезда белолобых гусей, расположенные на их гнездовых участках. Случалось, поморники расклеивали и кладки уток, устроившихся вблизи их гнезд. Однако следует учитывать, что многие из этих историй разорения гнезд поморниками вызваны появлением человека: гуси и утки спешно покидали кладки, не успев тщательно прикрыть их выстилкой гнезда, а потом долго не возвращались. В естественной обстановке поморник безусловно не столь успешен.

Говоря о гнездовании птиц «под защитой сильного соседа», нельзя не упомянуть о явном тяготении некоторых видов к че-

ловеческому жилью, если там, конечно, нет свободно бегающих собак. Например, во время наших стационарных полевых работ в низовьях р.Убиенки, в среднем течении Анадыря, в пределах 50—100 м от вагончика и палаток нашей базы обычно было от двух до пяти гнезд связей, шилохвостей и морянок. После того как полевая база была перенесена на 1 км ниже по реке с незатопляемого бугра в высокую пойму, уже на второй год в непосредственной близости от нее стали гнездиться шилохвосты, связь, синьга, турпан, белохвостый песочник, круглоносый плавунчик, малый дрозд (*Catarus minimus*), овсянки и пеночки разных видов. Весьма показательным, что шилохвость один раз устроила свое гнездо в пяти метрах от обитаемой палатки, а малые дрозды гнездились в двух и пяти метрах от экспедиционного вагончика и палатки соответственно. Во время полевых работ в июне—июле 1990 г. на косе Беляка (побережье Чукотского моря) в непосредственной близости от избушки смотрителей маяка, где базировалась наша экспедиционная группа, обнаружены более 10 гнезд обыкновенной гаги. И таких фактов много.

Совершенно очевидно, что гнездование птиц «под защитой сильного соседа» оправдано во всех случаях, даже учитывая некоторый риск разорения гнезд самими «защитниками», как это случается среди колоний крупных чаек и около гнезд поморников. Но имеют ли какие-либо преимущества от такого сосед-

ства сами «защитники» или здесь выгода сугубо односторонняя? В случаях гнездования казарок и гусей около гнезд хищников ответ однозначный: выгода есть, и немалая. Действительно, недаром существует древнее предание — «гуси Рим спасли». Как уже говорилось, у гусей и казарок (а это тоже гуси, только поменьше) самец принимает участие в размножении, и, пока самка насиживает, самец находится рядом, зорко обозревая окрестности. При появлении опасности он немедленно проявляет беспокойство, обычно сопровождающееся характерным тревожным подгогатыванием, чтостораживает находящихся на гнезде или около него сокола или совы, которые немедленно атакуют незваного гостя. В противном случае песец может незаметно подобраться к находящемуся на гнезде пернатому хищнику и даже загрызть его, что в годы с низкой численностью леммингов иногда случается. Гнездование гаг и других уток, затаивающихся на гнездах, не столь полезно для хищника, однако их наличие может отвлекать внимание рышущих в поисках добычи песца или лисицу, а поднятый при этом переполох опять-таки неизбежно побуждает хищную птицу к активным действиям. Неясно, в какой мере гнездование уток и некоторых других птиц в колониях крачек для них полезно; вопрос этот, как и многие другие, связанные с взаимоотношениями между различными членами биоценозов, сложен и требует дальнейшего изучения. ■

Литература

1. Кречмар А.В., Дорогой И.В. Белая сова (*Nyctea scandiaca* L.) // Экология млекопитающих и птиц острова Врангеля. Владивосток, 1981. С. 56—81.
2. Житков Б.М. // Ежегодник Зоол. муз. АН. 1912. № 17. С. 311—370.
3. Наумов С.П. // Труды Полярной комиссии АН СССР. 1931. № 4. С. 1—106.
4. Кречмар А.В. // Труды Зоол. ин-та АН СССР. 1966. Т. 19. С. 185—312.
5. Стишов М.С., Придатко В.И., Баранюк В.В. Птицы острова Врангеля. Новосибирск, 1991.
6. Дорогой И.В. Материалы по биологии тихоокеанской черной казарки. Орнитология. МГУ, 1987. Вып. 22. С. 206—208.
7. Кречмар А.В., Кондратьев А.В. Пластинчатоклювые птицы Северо-Востока Азии. Магадан, 2006.
8. Кречмар А.В., Сыроечковский Е.В. // Зоол. журн. 1978. Т. 57. Вып. 6. С. 899—910.

Пламенеющие опалы Австралии

Камень опал — от всех опал.

М.Г.Томилин

Австралийский континент известен своими минералами и входит в число богатейших стран по полезным ископаемым. Но особо знаменит он уникальными опалами. Характерная их особенность — радужное сверкание (опалесценция). По этому признаку они делятся на благородные (те, кому свойственна опалесценция) и обыкновенные (те, кто такой игрой не обладает). По химическому составу опал — это аморфный кремнезем, содержащий некоторое количество воды ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Благородный опал имеет структурные элементы и содержит от 6 до 10% воды. При старении опал теряет часть воды и превращается в халцедон — разновидность кварца со скрытокристаллической волокнистой структурой.

Название минерала происходит от греческого *οπαλλος* (смена цвета), которое, в свою очередь, берет начало от санскритского слова *upala*, означающего «драгоценный камень». В Индии издавна обожествляли опалы, считая их камнями любви, веры и сострадания. В Аюрведе сказано, что они содержат в себе стихии воды, огня и жира, и могут служить лекарством. Глазные агаты, как еще называли опалы, использовали для изготовления глазных фибул статуям божеств. В античном Риме произносили *opalus*, что означает «камень, состоящий из частей», — наиболее точно угадывая его природу.

© Томилин М.Г., 2010



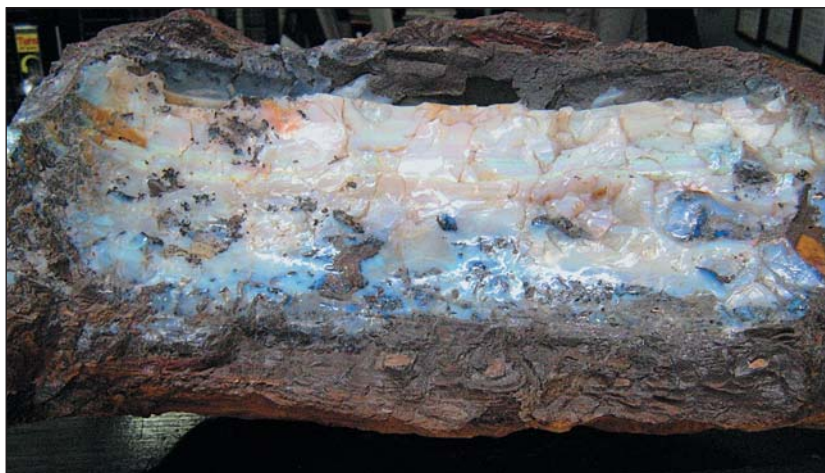
Максим Георгиевич Томилин, доктор технических наук, профессор кафедр физики и материаловедения Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий механики и оптики. Область научных интересов — жидкие кристаллы, материаловедение, история науки.

Плиний Старший считал: «Из всех драгоценных камней опал вызывает наибольшие трудности при описании. Для него свойственна острая игра света карбункула, фиолетовый отблеск аметиста, золотистая желтизна топаза, синевя сапфира и аквамаариновые тона изумруда — смешанные все вместе и сияющие в восхитительном калейдоскопе». Марк Антоний однажды низложил сенатора, отказавшегося подарить ему этот камень.

Благодаря туманному блеску и высокому содержанию воды опал называют камнем Луны. Его считают амулетом, приносящим владельцу красоту, успех и счастье. Он и сегодня используется в качестве талисманов. По изречению Дельфийского оракула, опал — символ чарующего обаяния непостоянной женщины. Римляне почитали его как символ надежды, верности, чистоты и удачи и ставили по ценности на второе место

после изумруда. Скандинавские женщины украшали опалом волосы, чтобы предотвратить их поседение. Арабы думали, что опал может отражать свет и при желании делать его владельца невидимым.

Однако опал называли и «злым глазом». Большую роль в предубеждении против него сыграл роман В.Скотта «Анна Гейерштейнская». Писатель так ярко обрисовал драматические события, что за опалом надолго закрепилась слава минерала, приносящего несчастье. Легенда повествует о великолепном камне, украшавшем корону императоров Священной Римской империи и охранявшем королевскую фамилию. Альберт Великий (1193—1280) в бытность свою епископом писал об опале: «Ничего подобного ему раньше не было... Его цвет чист, как сияющий белый снег. Этот полупрозрачный камень по традиции показывают вечером, так



Австралийские опалы.

Здесь и далее фото автора

как он светится в темноте». Опал носили как кулон, чтобы разгонять меланхолию, и, как многие драгоценные камни, он мог предупреждать о присутствии яда, теряя вблизи отравы игру красок. Многие знатоки драгоценных камней ставили опал по ценности на первое место среди самоцветов. Он до сих пор украшает французскую корону. Знаменитый опал «Горящий Гром», приобретенный Наполеоном за 30 тыс. золотых дукатов, был подарен им Жозефине. С украшениями из опалов никогда не расставались английская королева Виктория и

русская императрица Александра Федоровна.

Крупнейший опал Нониуса, величиной с большой орех, по современной оценке стоит более миллиона рублей. Самая богатая коллекция благородных опалов принадлежит Императорскому венскому минералогическому кабинету.

Обыкновенный опал не имеет игры цветов. Он в различной степени прозрачен, иногда бесцветный, но большей частью окрашен в неяркие цвета. Красивые образцы шлифуются и считаются полудрагоценными камнями.

Месторождения опалов

Опал раньше добывали ацтеки в Центральной Америке и древние племена в Центральной Африке. До начала XX в. лучшие экземпляры поступали из месторождения Червеница на крайнем востоке Чехии. Сейчас 95% мировой добычи благородного опала приходится на Австралию. Остальные 5% добываются на месторождениях Мексики, северной Бразилии, в Гватемале, Гондурасе, Японии, в американских штатах Айдахо и Невада, а также в Эфиопии и Мали. В России известны лишь небольшие его проявления на Камчатке. Встречаются локальные месторождения на Украине, в Казахстане и бывших республиках Средней Азии.

Обыкновенный опал в Австралии впервые обнаружили в 1849 г. Благородный же опал в Кубер Педи (на языке аборигенов это означает «белый мужчина в яме») нашли случайно лишь в 1915 г. Один из охотников, преследуя раненое животное, обратил внимание на необычный красивый камешек. Новость о находке облетела округу, и вскоре там начались разработки. Наиболее известные из месторождений Нового Южного Уэльса — Лайтнинг-Ридж и Уайт-Клифс, в Южной Австралии — Кубер-Педи и Андамука, в Квинсленде — Бюлла-Крик и Бюрку-Ривер. Из Андамуки происходит самая большая плита опаловой породы, весящая 6843 кг — «Пламя Пустыни Андамука».

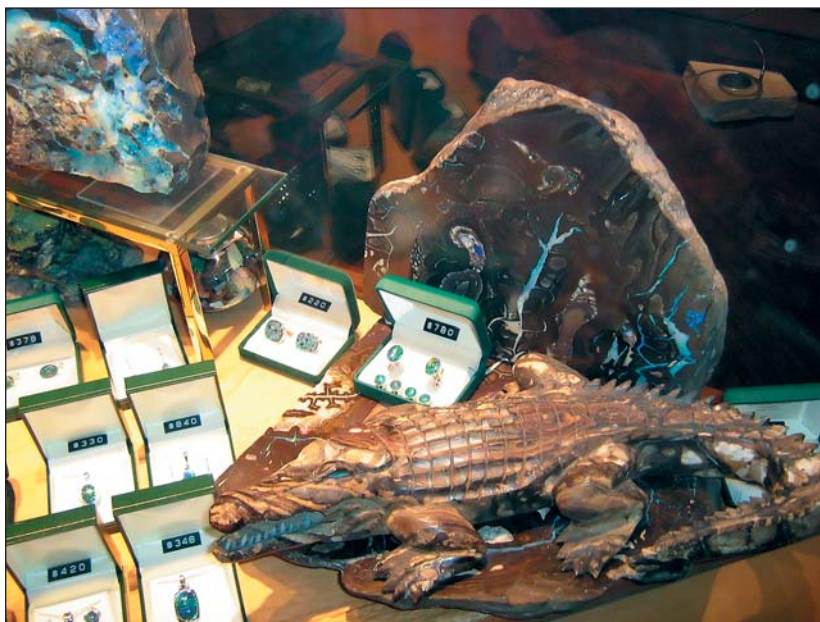
История австралийских опалов началась миллионы лет назад, когда часть континента была покрыта морем, в лагунах которого формировались осадочные отложения. В трещинах и пустотах скалистых пород скапливались богатая кремнием вода, остатки растений и животных. Ювелирные магазины Австралии украшены экзотичными фигурами свидетелей этих процессов — древних обитателей планеты. Кремнезем мед-

ленно превращался в опал, представляющий собой гель из кремниевой кислоты и воды.

Хотя добыча опалов остается сравнительно мелкомасштабной отраслью, она, тем не менее, приносит австралийской экономике 30 млн долл. ежегодно. 28 июля 1993 г. опал был объявлен национальным драгоценным камнем Австралии. Своеобразны и метод его добычи, и образ жизни сообщества старателей.

Добыча драгоценного сырья

Большинство опалов встречается на глубине до 24 м в виде тонких (1–2 мм) прослоев, как правило, в песчаниках. Но отдельные экземпляры прячутся в укромных «карманах» в породе. Из шахт глубиной от 5 до 40 м вручную вытягиваются ведра с породой. Быть искателем опалов — это, как и раньше, полное лишений занятие, хотя сейчас и применяются такие средства, как грузовые автомобили и ленточные конвейеры. На территории добычи видны отвалы отработанной породы, но нет ни вышек, ни подъемников над шахтами и никаких зданий. Странные круглые холмики с отверстием посередине создают впечатление вулканической области, усеянной конусами. Каждый из небольших холмиков соединен шахтой с целым подземным миром. Мягкие песчановые породы пустыни совсем не трудно копать при помощи кирки и лопаты, хотя нередко используют и взрывчатку. Обычно камень окрашен в два-три цвета, но встречаются и такие, в которых будто бы запечатлелась радуга. Тысячи туристов надевают каски и спускаются в шахты, чтобы посмотреть вживую на «застывшие искры». Примерно с глубины 6 м становится прохладно — лежащая выше порода поглощает жар солнца пустыни. Еще первые старатели сообразили, что можно сравнительно удобно устроиться под землей, в жилищах, которые



Экзотические фигуры древнейших животных — ровесников австралийских опалов.

почти ничего не стоят. Что до их преемников, то они с семьями живут в современном подземном комфорте. Многие их дома велики и роскошны, в некоторых есть даже подземные бассейны, в то время как совсем недалеко, на поверхности, солнце безжалостно палит землю. Однако жизнь на опаловых рудниках по-прежнему тяжела, и многие ста-

ратели переходят со временем к более легкой жизни в других местах. Но надежда найти находку своей мечты привлекает снова и снова мужчин и женщин в горячую и пыльную Австралию. Их подпитывают истории о том, как старатели находили богатую жилу, после того, как их незадачливые коллеги бросали участок после месяцев тяжелой работы.



Праздник старателей. Старинная гравюра.

Разновидности опала

По преданиям коренных австралийцев, сотворение опала произошло в давние «времена сновидений», когда Создатель спустился с радуги на Землю, чтобы передать людям знания мира. На том месте, где его нога коснулась земли, начали образовываться камни, которые све-

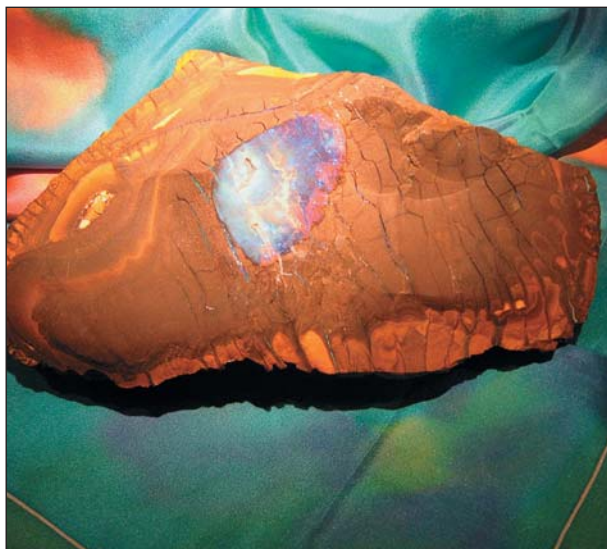
тились всеми цветами радуги. Многие местные жители считают, что обрабатывать их — грех: нельзя усовершенствовать то, что создала Природа. Красота опалов никого не оставляет равнодушными. В них можно получить цвета других драгоценных камней, а складывающийся рисунок меняется с каждым движением камня.

Различают несколько разновидностей опала. Гиалит — самый ценный сорт водяно-прозрачных камней. Он прозрачный и переливается, как жемчуг. Иногда гиалит образует корки гроздевидной наружности на различных породах; облепляет мхи и лишайники.

Гидрофан — око мира, белый, сильнопористый, в сухом состоянии непрозрачный. Но если его опустить в воду, он становится прозрачным и начинает играть голубоватыми, очень красивыми переливами. Око мира якобы помогает своему владельцу телепатически воздействовать на умы окружающих. Им пользовались для предсказания будущего.

Пирофан — огненный опал, становится просвечивающим, только когда его пропитывают расплавленным воском. Считают, что он защищает от стихийных бедствий.

Боулдеры — опалы, сформированные на небольшой железистой прослойке, неотделимой от драгоценного камня. Это непрозрачные буроватые включения внутри опала. Красноватые полосы оксидов железа и невозможность придать камню классическую форму делает боулдеры неповторимыми произведениями искусства.



Игра красок в благородных опалах.

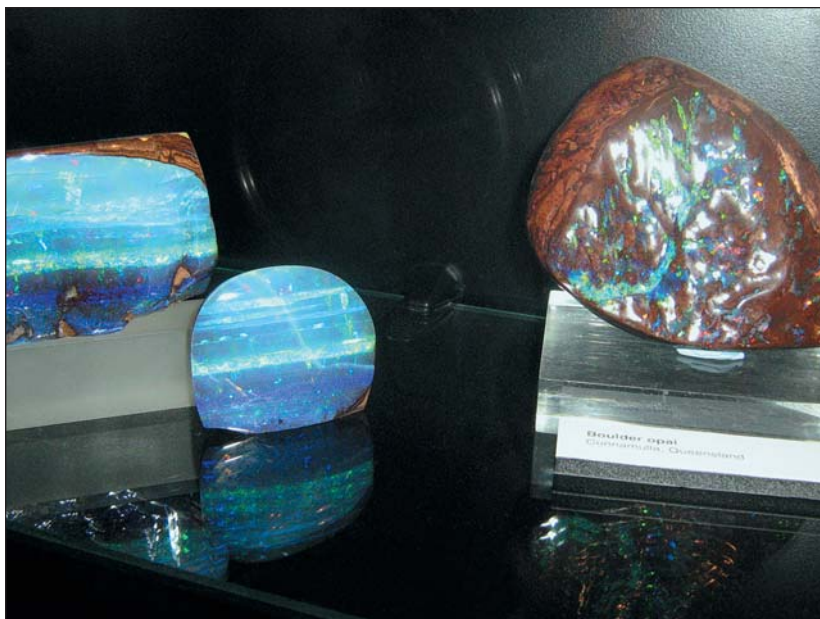
Опализованные окаменелости интересны коллекционерам и натуралистам. В одном из рудников Австралии нашли скелет небольшого пресмыкающегося, похожего на змею, полностью замещенный опалом с великолепной игрой цветов. «Опаловую змею» немедленно купил любитель редкостей.

В серийных украшениях часто используются композитные опалы (дуплеты и триплеты), представляющие собой срез минерала, наложенный на более темную основу, оттеняющую его основной цвет. Дуплеты — опализованные опаловые пластинки, наклеенные на оникс, обсидиан, черное стекло или простой опал. Минерал и подложка склеиваются и обрабатываются как единое целое. Триплеты — дальнейшее развитие дуплетов: на опал наклеивают дополнительный защитный слой горного хрусталя, синтетического материала или свинцового стекла.

Если хранить опалы в условиях низкой влажности, они могут потрескаться и помутнеть. Украшения с ними следует носить как можно чаще. Драгоценный камень берет необходимую ему влагу из воздуха или кожи владельца. Однако опал — камень не на каждый день. Рекомендуется не подвергать его чрезмерным перепадам температуры, избегать абразивных веществ и острых поверхностей. Он не такой твердый, как сапфир, изумруд и тем более бриллиант.

Со второй половины XIX в. опалы становятся популярными, особенно обработанные в гранильных немецкого центра драгоценных камней Идар-Оберштайна. Расцвет моды на них наступил в начале XX в. Тогдашние специалисты по украшениям любили опалы за «мягкое обаяние», отлично гармонирующее с эмалью, которая в то время использовалась.

Цена камня зависит прежде всего от основного цвета, прозрачности и специфических особенностей мест находок. Основные цвета опала — темный



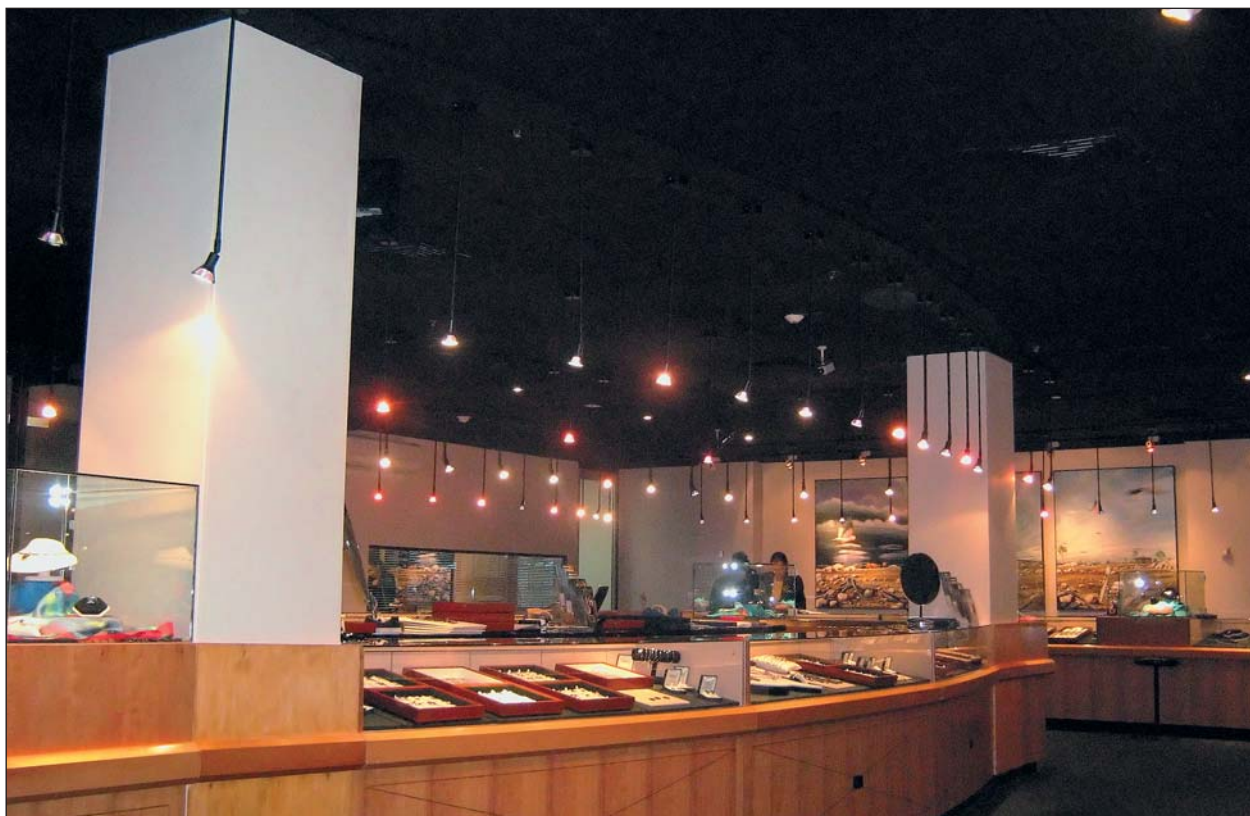
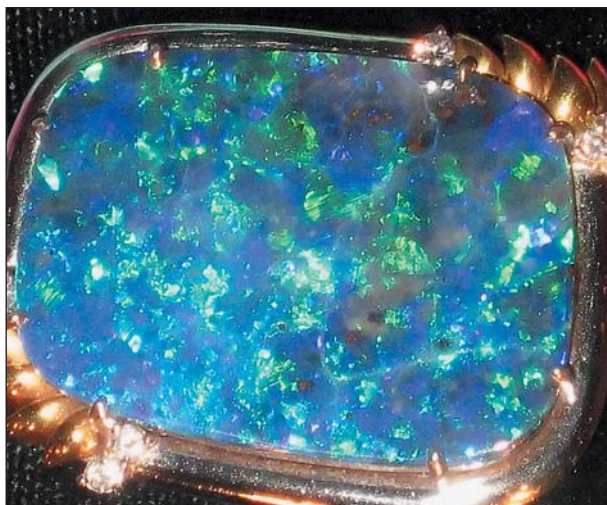
Боулдеры — опалы, сформированные на небольшой железистой прослойке.

(черный), светлый и разноцветный. Самыми редкими считаются черные с малиновым отливом, когда на темном фоне переливаются все цвета радуги, включая яркие красные блики. Образцы из местечка Лайтнинг-Ридж в Новом Южном Уэльсе очень дороги — 10 тыс. долл. за грамм. Мутноватый опал с цветными вкраплениями стоит дешевле, чем прозрачный двухцветный. Белые, или молочные, опалы —

самые доступные по цене, они обладают расплывчатой цветовой игрой. Важный ценоопределяющий критерий — цветовая игра опала и появляющиеся при этом удивительные образы. Окраска этих камней не связана с обычным поглощением света. Проходящий и отраженный лучи в этом случае имеют дополнительную окраску. Так, синий экземпляр, если смотреть насквозь, может выглядеть желтым.



Цветовая игра молочных опалов.



В ювелирных магазинах Австралии можно выбрать опал на любой вкус.

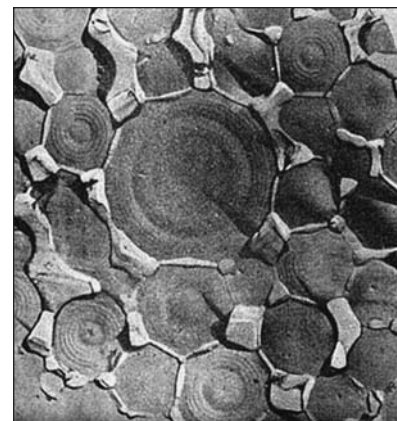
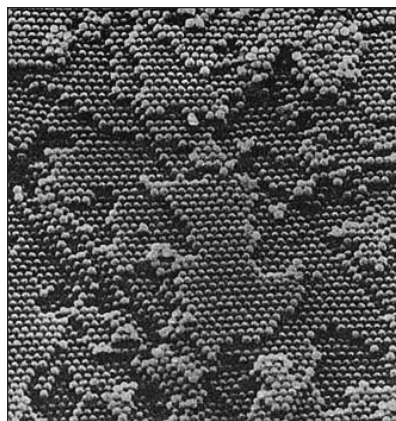
При оценке камней учитывается толщина опалового слоя, красота рисунка, величина, вес и качество огранки или обработки. Решающий фактор, конечно, — общее впечатление. Все это многообразие любезно предоставляет хорошо развитая в Австралии сеть ювелирных магазинов.

С древних времен люди верили в исцеляющую силу опалов. Считается, что он устраняет мрачное настроение и помогает найти настоящую, неподдельную любовь. Опалы приносят счастье людям, рожденным под знаками Рыб, Рака и Весов. Черный опал рекомендуют Скорпионам, боулдер — Овнам.

Структура и синтез опалов

Исследования структуры опалов с помощью электронного микроскопа помогли выяснить, что за сказочную цветовую игру ответственны маленькие шарики кремнезема и регулярный микрорельеф поверхности. Они и служат причиной интерферен-

ции и дифракции аморфного вещества. Компактно упакованным шарикам удается разложить проходящий через камень свет на все цвета радуги, и каждый раз по-новому. Наиболее яркая игра возникает при различии оптических свойств шариков и цемента, заполняющего пустоты между ними. У благородных опалов размеры шариков кремнезема и их структурная упаковка одинаковые, а у всех остальных различаются. Размер шариков кремнезема сопоставим с длинами световых волн, а сами шарики расположены в виде правильной пространственной решетки (наподобие пчелиных сот) в массе кремневого геля. Вследствие дифракции при прохождении света через пустоты между сферическими образованиями, отражения от шариков и интерференции или вследствие отражения и разложения света от тончайших многочисленных трещин происходит опалесценция, меняющаяся с поворотом камня. Игра окраски опала — псевдохроматическая, неистинная окраска самого камня. Игра цвета зависит от величины шариков кремнезема: при диаметре 0.0003 мм проявляются все цвета спектра; при 0.0002 мм — преобладают зеленые, голубовато-фиолетовые тона; при 0.00015 мм — голубые и фиолетовые, при меньших размерах — только фиолетовые. Понять природу этого эффекта древние алхимики не могли, однако они сумели его оценить и даже усилить специальной полировкой. Для лучшего проявления цветовой игры благородных опалов им придают круглую или овальную форму кабошонов. Гранят только самые лучшие огненные опалы. Огранщик сначала с помощью алмазного круга осторожно удаляет все неровности. Потом обрабатываются все



Структура благородных (слева) и обыкновенных опалов.

www.gwidon.ru

тонкости формы, дальше — отшелка с помощью наждачной шкурки и, в заключение, — полировка влажным кожаным кругом. Опал очень чувствителен к давлению, ударам, кислотам и щелочам.

Еще три десятка лет назад господствовало мнение о невозможности синтеза опала. Считалось, что для образования природных камней требуется время до 100 тыс. лет, и, казалось, нет путей ускорить этот процесс до такой степени, чтобы он был приемлем для лабораторий или заводов. Сейчас синтез опала сделан возможным благодаря интенсивным исследованиям структуры и свойств естественных минералов. Сначала удалось объяснить происхождение необычных и ярких цветов, наблюдаемых у наиболее красивых разновидностей. Чистые цвета опала указывают на то, что длины волн света, отраженного от небольших участков камня, занимают только очень узкий интервал спектра. В этом смысле они скорее соответствуют цветам радуги, чем цветам окрашенной поверхности. Окраска опалов связана и с их микроструктурной структурой. Каждое зерно

диаметром от менее чем одного до нескольких миллиметров имеет свой характерный цвет, который меняется, когда камень поворачивают и свет отражается под разными углами.

В 1974 г. француз Пьер Жильсон создал компанию по искусственному выращиванию опалов Gilson Created Opal. Его начинание подхватила в Японии и Австралии. Российские ученые из Новосибирска и Санкт-Петербурга также синтезировали искусственный опал с упорядоченным внутренним строением, по своим свойствам практически неотличимый от австралийских. Сегодня существует множество имитирующих опал материалов с включениями пластика и стекла. Но они не могут заменить игру волшебных красок естественного камня.

* * *

Австралийские месторождения постепенно истощаются. В природе не существует двух одинаковых опалов. И если по воле судьбы вы окажетесь на Зеленом континенте, не уезжайте без своего уникального опала. Вы будете любоваться им всю жизнь. ■

Человек проникает на Север

А.А.Величко, С.А.Васильев, Ю.Н.Грибченко, Е.И.Куренкова

Широкомасштабная комплексная программа начала XXI в. «Международный полярный год» 2007—2008 (МПГ) объединила усилия ученых разных специальностей из разных стран мира, интересы которых связаны с высокими широтами. Проект МПГ, в рамках которого мы работали, носит название «Инициальное заселение Арктики человеком в условиях меняющейся природной среды».

Проникновение человека на север стало заключительным аккордом в истории расселения *Homo sapiens* по планете [1]. Этому предшествовало длительное (почти полумиллионное) существование людей во внутритропическом пространстве, но уже около 2 млн лет назад человек появляется на южном пределе умеренного пояса (на Ближнем Востоке, а затем в Закавказье и на Северном Кавказе). Не выходя за территорию Кавказско-Альпийского горного пояса, служившего преградой для северных холодов, люди жили более миллиона лет.

На востоке Европы состоялась самая первая встреча человека с севером. В интервале 400—300 тыс. лет назад отдельные группы носителей ашельской культуры покинули пределы Кавказских гор, преодолев климатический барьер, и продвинулись на равнину, о чем свидетельствуют археологические памятники, обнаружен-



Андрей Алексеевич Величко, доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией эволюционной географии Института географии РАН. Специалист в области палеогеографии и палеоклиматологии. Член редколлегии журнала «Природа».



Сергей Александрович Васильев, доктор исторических наук, заведующий сектором Института истории материальной культуры РАН (Санкт-Петербург). Область научных интересов — археология каменного века.



Юрий Николаевич Грибченко, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории эволюционной географии Института географии РАН. Занимается стратиграфией и литологией отложений средне- и позднелейстоценового возраста на европейской части России, в том числе на стоянках первобытного человека.



Елена Ивановна Куренкова, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник той же лаборатории. Изучает условия обитания палеолитического человека и радиоуглеродную хронологию позднего палеолита.

© Величко А.А., Васильев С.А., Грибченко Ю.Н., Куренкова Е.И., 2010

ные в низовьях Дона и на Северском Донце. Таким образом, начался долгий путь человека по равнинным территориям в сторону арктических широт (рис.1). Однако на большие расстояния в глубь равнины он еще не мигрировал [2].

В последнюю ледниковую эпоху

Начало процесса инициального освоения Арктики и Субарктики связано с наступлением последней ледниковой эпохи около 100 тыс. лет назад. Со вто-

рой половины среднего плейстоцена вплоть до указанного времени доминирующее положение получили носители мустьерской культуры, которые уже могли перемещаться на достаточно большие расстояния — до широт современного Волго-

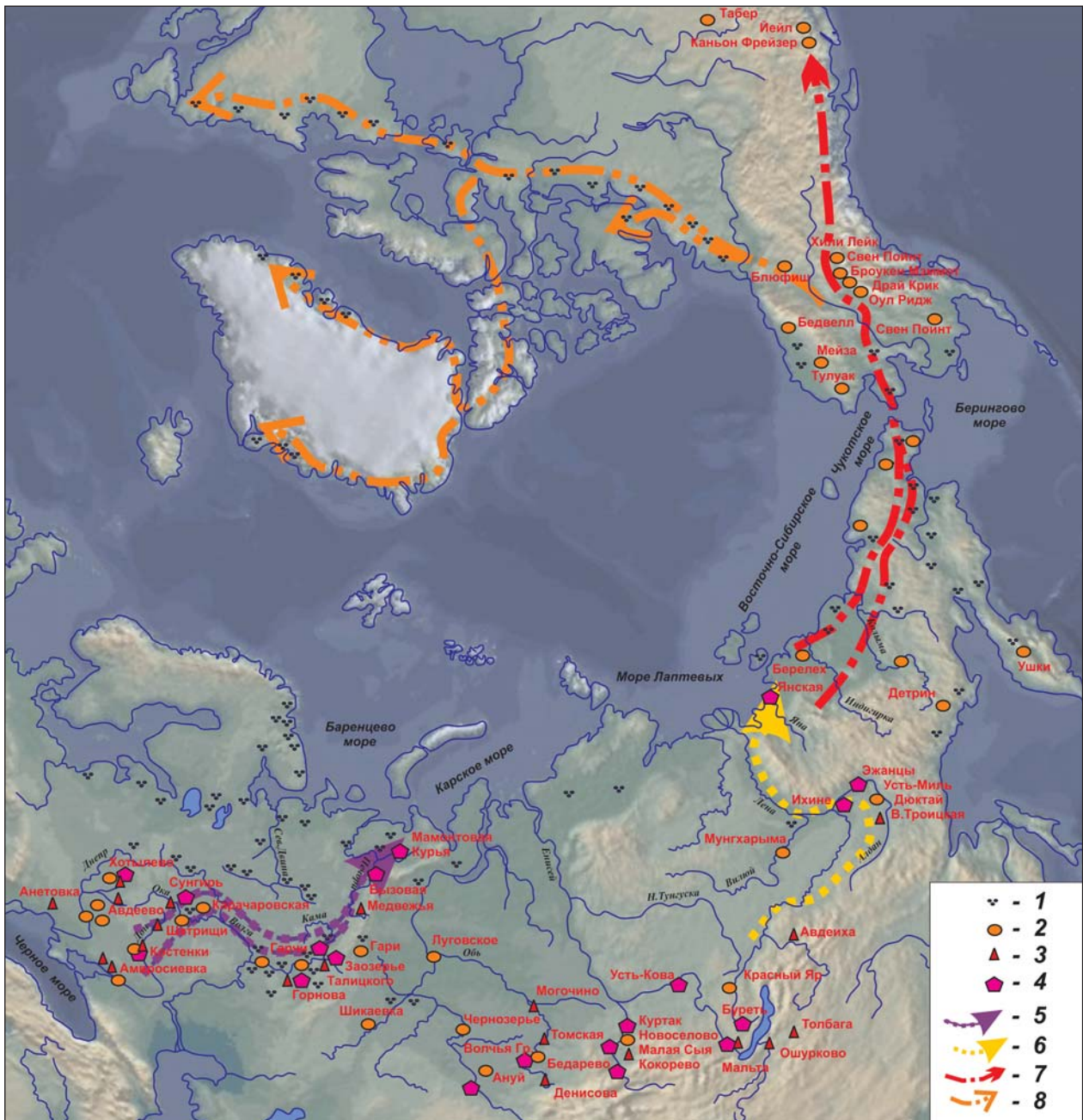


Рис.1. Распространение основных стоянок и местонахождений этапов первоначального освоения Арктики и Субарктики и прилегающих территорий. Условные обозначения: мезолит и неолит, 10—4 тыс. лет назад (1); поздний палеолит: 15—12 тыс. лет назад (2), 23—16 тыс. лет назад (3), 24—35 тыс. лет назад (4). Пути расселения самых ранних обитателей Арктики и Субарктики: Восточная Европа (5), Восточная Сибирь (6), северо-восток Азии — Берингия — Северная Америка (7), Канадский Север — Гренландия (8).

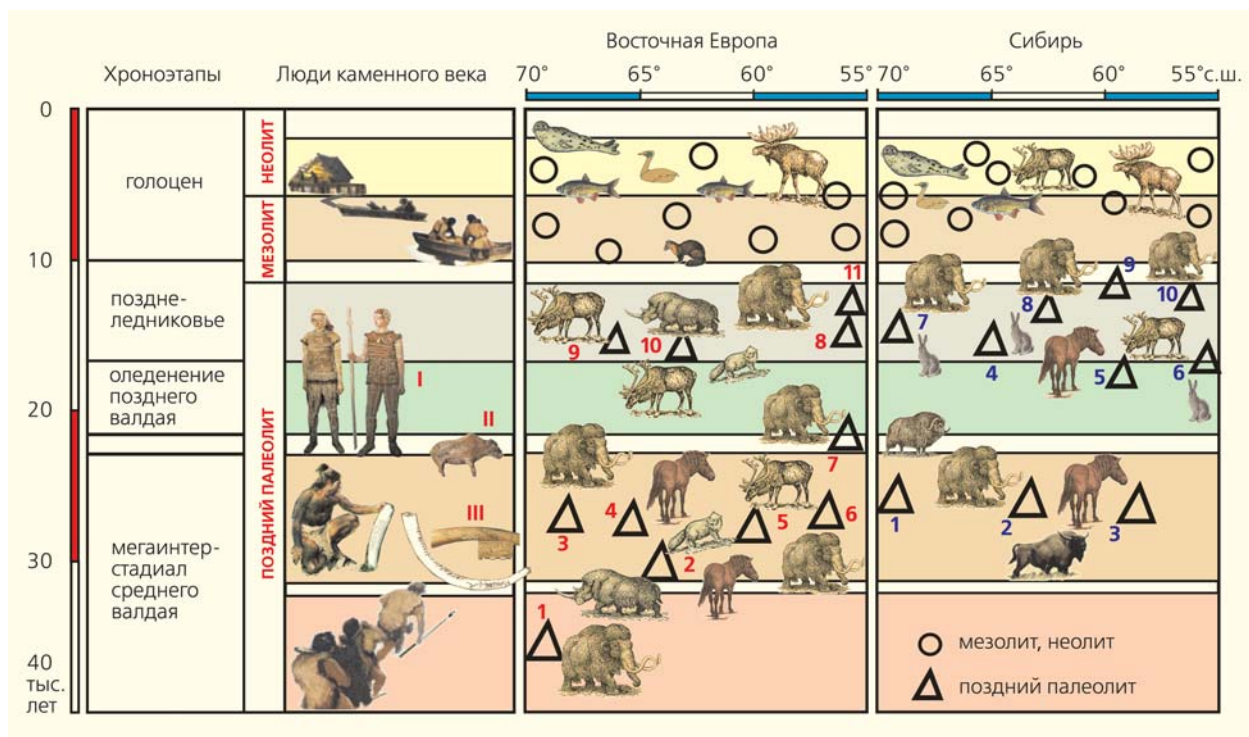


Рис.2. Хроностратиграфическое и пространственное положение основных стоянок позднего палеолита, мезолита и неолита севера Восточной Европы и Сибири. На рисунке показаны основные объекты охоты, реконструкция одежды обитателей стоянки Сунгирь (28 тыс. лет назад) — I, фигурка бизона из бивня мамонта со стоянки Зарайск (22 тыс. лет назад) — II, бивень мамонта с нарезками (около 35 тыс. лет назад) — III из местонахождения Мамонтова Курья. Стоянки Восточной Европы: 1 — Мамонтова Курья, 2 — Заозерье, 3 — Бызовая, 4 — Гарчи, 5 — Горнова, 6 — Сунгирь, 7 — Зарайск, 8 — Шатрицы, 9 — Медвежья, 10 — Талицкого, 11 — Карачарово. Стоянки Сибири: 1 — Янская, 2 — Ихине, 3 — Усть-Миль, 4 — Дюктай, 5 — Эжанцы, 6 — Кокорево, 7 — Берелех, 8 — Луговское, 9 — Гари, 10 — Волчья Грива.

града (стоянка Сухая Мечетка), а также совершать «рейды» дальше на север, в современную Брянскую обл., и далее на северо-восток — по бассейну средней Камы до 58°с.ш. [3].

Кроме того, эти сообщества проникали на север Восточной Европы по долине Печоры севернее 65°с.ш. По палеогеографическим данным можно предполагать, что мустьерцы пришли в бассейн Камы до начала ранневалдайского потепления. Начало достаточно устойчивого проникновения на север относится ко второй половине среднего валдая (около 40—35 тыс. лет назад). Именно в это время, по всей вероятности, происходит переход к позднему палеолиту, т.е. к периоду, когда господствующим видом становится человек современного типа, *H.sapiens sapiens*, носитель

новой, верхнепалеолитической, культуры изготовления каменных орудий.

Расселение этого человека в арктических и субарктических широтах — сложный процесс, характеризующийся существенной неравномерностью проникновения, первичного заселения и хозяйственного освоения разных территорий (рис.2). Иногда местонахождения следов пребывания первобытных сообществ фиксируются редкими находками каменных орудий и отдельных костей животных. Отсутствие признаков долговременных поселений, значительные хронологические перерывы между датировками отдельных, зачастую весьма немногочисленных, стоянок могут интерпретироваться как кратковременные посещения или как отдельные инициальные проникновения в вы-

сокие широты и затем возврат в более южные районы (тактика «вперед-назад»).

Вместе с тем человек позднего палеолита на Восточно-Европейской равнине был достаточно адаптирован к экстремально суровым условиям поздневалдайской ледниковой эпохи [4]. Главными критериями в выборе территории обитания были обеспеченность крупными млекопитающими (объектами охоты), преобладание открытых пространств и широких речных долин, стабильность поверхности обитания и возможность протяженных миграций.

Выделение в хронологии стоянок и местонахождений позднего палеолита, мезолита и неолита трех главных этапов основано на соотношениях между радиоуглеродными датировками культурных слоев архе-

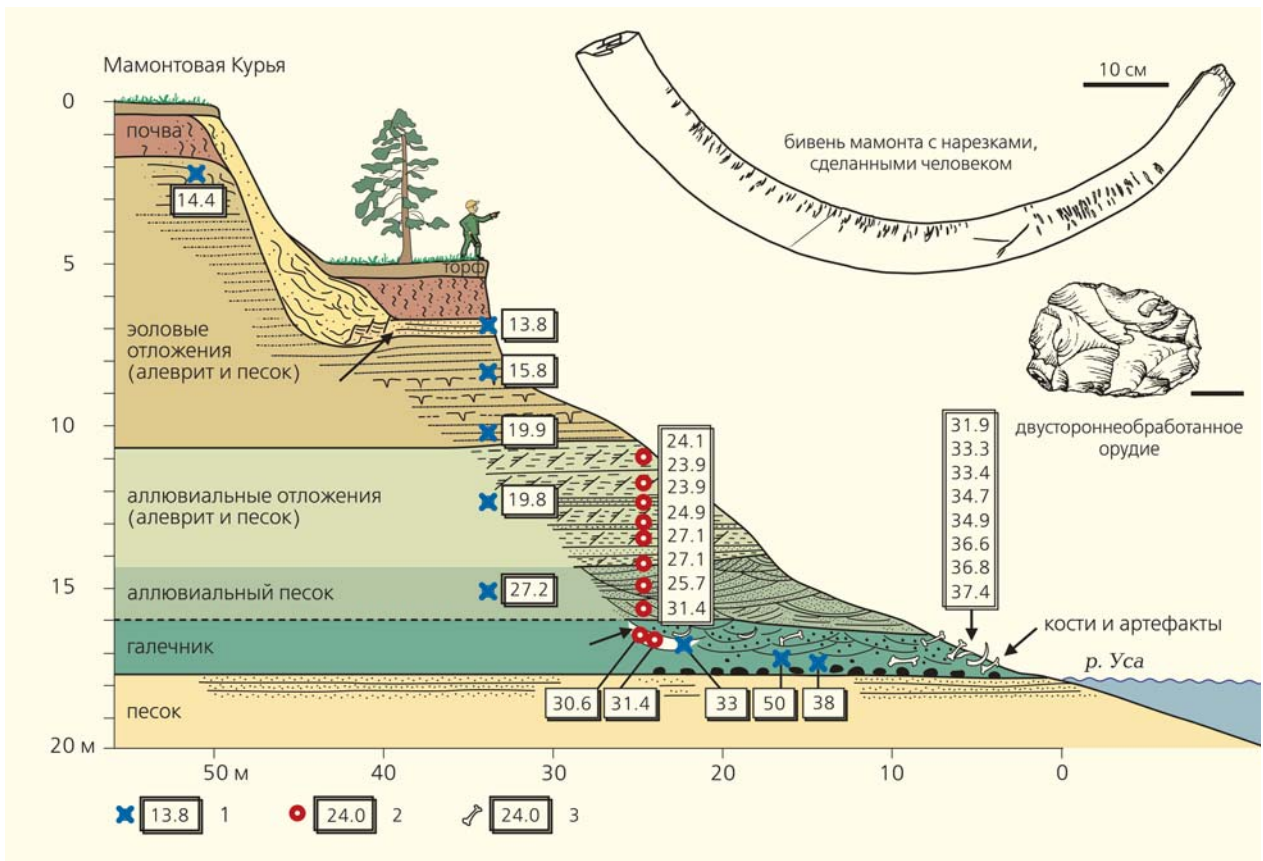


Рис.3. Месторождение Мамонтова Курья [6]. На рисунке показаны датировки, полученные различными методами: термолюминесцентным — 1, радиоуглеродным по растительному материалу — 2, радиоуглеродным по остаткам животных — 3.

ологических памятников и природными событиями позднего плейстоцена. Датировки культурных слоев наиболее ранних памятников первого этапа на севере составляют хронологический интервал от 35 до 24 тыс. лет назад. Здесь следует отметить, что от начала этого этапа до 31 тыс. лет назад на севере известно лишь одно местонахождение — Мамонтова Курья, тогда как южнее этому отрезку времени соответствует большое число стоянок Европы и Сибири.

Первый этап расселения (35–24 тыс. лет назад). Он приходится на вторую половину средневалдайского (брянского, каргинского) интервала, характеризующегося заметным потеплением внутри последней ледниковой эпохи. На территории Восточно-Европейской рав-

нины самые северные стоянки находятся в бассейнах Печоры и Камы.

Местонахождение Мамонтова Курья (рис.3) расположено в долине р.Усы (правый приток Печоры), на широте полярного круга (66°с.ш.). Это самое северное в Европе местонахождение следов позднелеолитического человека [5]. В галечниковых отложениях балочного аллювия здесь содержится большое количество костей крупных млекопитающих (с абсолютным преобладанием остатков мамонта), среди которых найдено несколько каменных орудий и бивень мамонта с нарезками, сделанными человеком. Все это может свидетельствовать о кратковременном присутствии здесь первобытных людей в результате инициального проникновения из более южных районов.

Археологические данные по этому памятнику весьма ограничены и его хронологическая позиция пока определяется по серии ¹⁴C-датировок по костям животных (в основном мамонтов). Диапазон дат — от 31 до 40 тыс. лет назад. Нельзя исключить и вероятности приноса человеком на стоянки древнего костного материала [6].

Сходная ситуация и на другом позднелеолитическом местонахождении — стоянке Бызовая, расположенной в долине Печоры в районе г.Печоры. Многочисленные кости животных (преимущественно мамонта) и кремневые орудия залегают здесь в галечниках балочного аллювия, что свидетельствует об их переложении из первичного залегания [3, 6]. Но, в отличие от Мамонтовой Курьи, здесь получен большой материал камен-

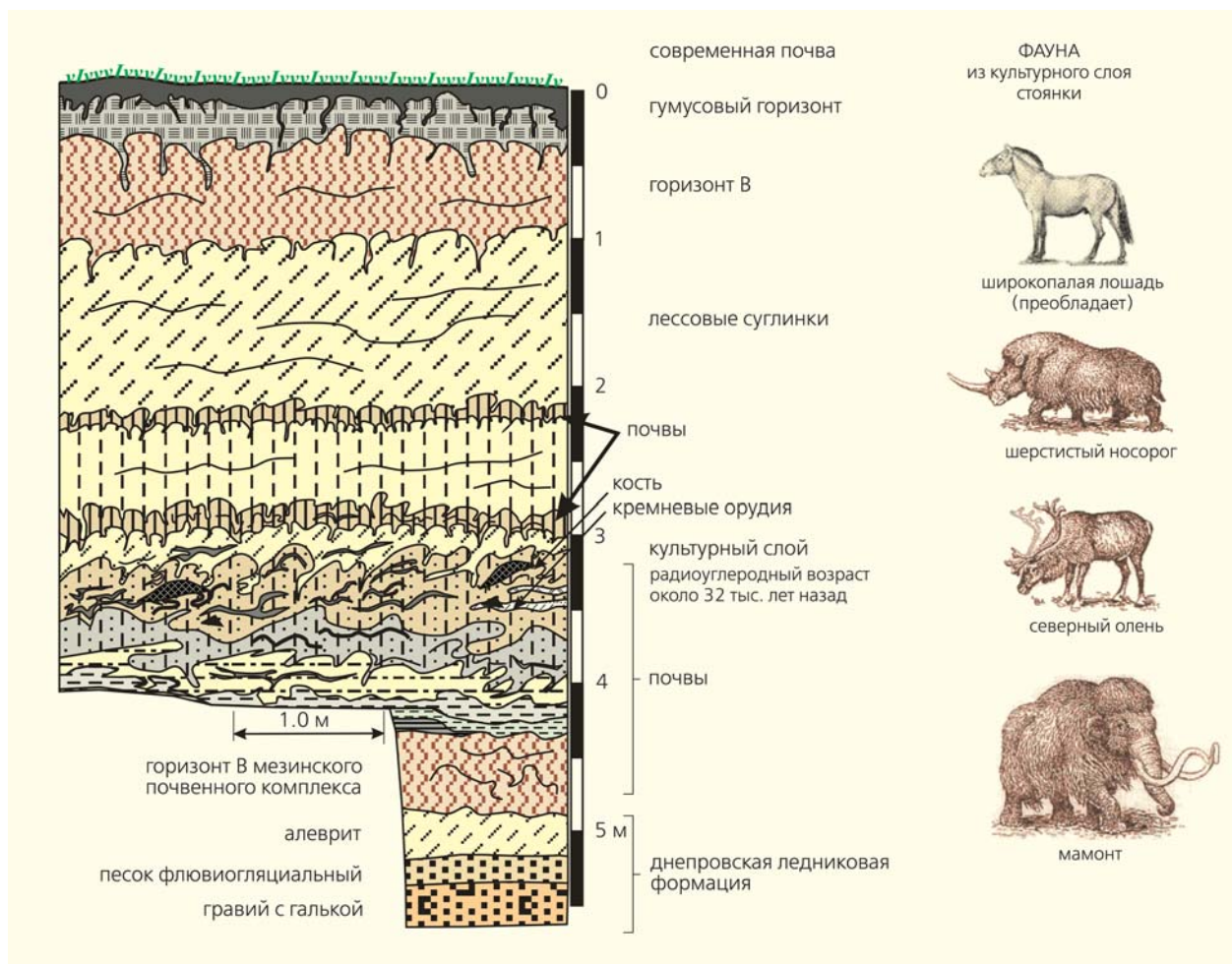


Рис.4. Местонахождение Заозерье. Разрез 2005 г., зарисовка Ю.Н.Грибченко.



Рис.5. Береговой обрыв р.Камы на участке размещения самого северного мустьерского местонахождения и позднепалеолитической стоянки Гарчи 1.

ных орудий, что дает возможность для археологических сопоставлений этой стоянки с более южными близкого возраста (Сунгирь — в бассейне Оки, некоторыми стоянками из Костенковской группы в бассейне Дона). Видимо, Бызовая достаточно долго (возможно, неоднократно) функционировала и ее жители использовали крупные кости и бивни мамонта для хозяйственных нужд. ¹⁴C-датировки костей животных в результате имеют здесь широкий хронологический диапазон (от 14 150±150 до 33 180±2020 лет назад).

В бассейне Камы в настоящее время известно несколько позднепалеолитических памятников ранней стадии расселения. Наиболее изучены стоянки Заозерье (рис.4) и Гарчи 1 (рис.5) [7]. По

археологическим данным эти памятники сопоставимы (как и Бызовая) с культурами Сунгиря и Костенок [5, 6]. В отличие от печорских, в фауне которых абсолютно преобладает мамонт, на камских доминирует широкопалая лошадь. Очевидно, что ландшафты, с которыми были связаны эти самые северные стоянки «лессового палеолита», характеризовались преобладанием открытых пространств перигляциальной тундры и лесотундры с участием разреженной лесной растительности. Эти районы размещения стоянок бассейна средней Камы можно считать переходными (и в то же время связующими) между областями позднепалеолитического расселения центральной части Восточно-Европейской равнины и ее северо-востока.

Культурные слои стоянок Заозерье и Гарчи 1 имеют идентичное стратиграфическое положение и близкие ^{14}C даты. Для Гарчи 1 имеется пока только одна датировка — $28\,750 \pm 795$ по углю, тогда как для Заозерья получена серия дат (от $31\,000 \pm 400$ до $33\,450 \pm 420$ лет назад).

Хронологический диапазон датировок культурного слоя не так велик, как для печорских памятников, но трудно представить, что стоянка здесь существовала в течение 3 тыс. лет [5].

Характер распространения ранних памятников позднего палеолита в бассейне Камы позволяет считать, что долина реки служила магистральным путем в процессе первичного расселения и продвижения человека на север. Наличие стоянок в долинах Нижней Камы и Печоры позволяет сократить территориальный разрыв между известными в настоящее время местообитаниями севера и центра Восточно-Европейской равнины и отметить пути главных миграций палеолитических охотников.

Наиболее изученные позднепалеолитические стоянки Сибири связаны преимущественно с южными районами, где сконцентрировано большинство

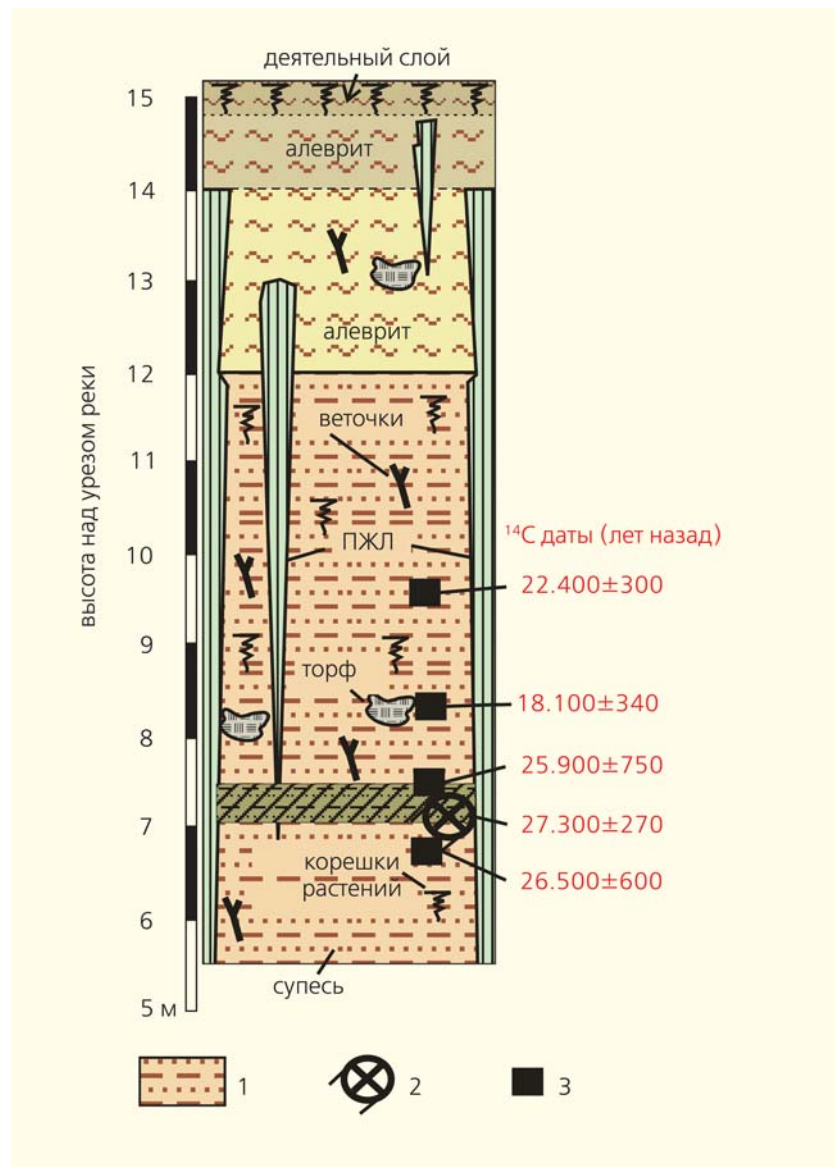


Рис.6. Стоянка Янская [12]. 1 — установленный культурный слой, 2 — челюсть лошади, 3 — местоположение ^{14}C дат, ПЖЛ — повторно-жилые льды.

разновременных памятников [8–10]. В Западной и Средней Сибири пределом наиболее северного распространения палеолитических памятников пока остается 58°с.ш. Только в бассейне р.Лены ранние стоянки распространяются на север до 64°с.ш. (Дюктайская, Верхнетроицкая, Ихине, Эжанцы, Усть-Миль и др.). Древнейшие памятники раннего этапа позднепалеолитического расселения на севере Сибири (в бассейне Алдана, правого притока Лены) со-

ответствуют интервалу 35–24 тыс. лет назад [11]. К этому этапу относится и одна из самых северных стоянок Сибири — Янская (рис.6), расположенная в низовьях р.Яны на 70°с.ш. и имеющая ^{14}C -датировки около 27 тыс. лет назад [12].

Археологические данные по Янской стоянке пока не дают возможности сопоставить ее с более южными памятниками Якутии и объяснить большой территориальный разрыв между ними.

Первые палеогеографические данные по району Янской стоянки показывают, что в период обитания здесь людей климат существенно смягчился, и июльские температуры были на 1–2° выше современных [12]. Таким образом, финальный этап каргинского интерстадиала был близок к современным условиям и даже теплее, т.е. подобен межледниковым.

В отличие от Европейского Севера, возможности миграций палеолитических сообществ в северные районы Восточной Сибири ограничивали горные системы Верхоянского хребта, в которых формировались крупные полупокровные оледенения, особенно в зрянскую (ранневалдайскую), а также в сартанскую (поздневалдайскую) ледниковые эпохи [4]. Даже в каргинскую интерстадиальную эпоху Верхоянские горно-долинные ледники сохранялись. Если Янская стоянка — свидетельство начального проникновения палеолитического сообщества в район Яно-Индигирской низменности, то возможным путем миграций в этот район могли быть северные территории осушенного арктического шельфа. По разным данным, на протяжении всего позднего плейстоцена (после бореальной трансгрессии) его полоса была достаточно широкой [13].

Как уже отмечалось, находки позднепалеолитических памятников раннего цикла расселения человека в северных районах Западной Сибири и Дальнего Востока пока неизвестны. Полностью исключать возможность проникновений первобытных сообществ этого времени на север по предгорьям Урала и речным долинам Оби или Енисея пока нельзя. Палеогеографические же данные для позднего плейстоцена Западной Сибири свидетельствуют о достаточно мягких климатических условиях (близких к современным) на территории равнины в каргинский период, сопоставимый со средневалдайским мегаинтерва-

лом Восточно-Европейской равнины [14]. Препятствием для дальних миграций палеолитических охотников могли быть: избыточное увлажнение территории, деградация многолетней мерзлоты, значительная интенсивность рельефообразующих процессов, нестабильность поверхностей и др.

Другой причиной малого количества палеолитических местонахождений могло быть отсутствие в регионе каменного сырья для производства орудий. Не исключено, что дальнейшие исследования региона позволят выявить относительно благоприятные для миграций человека территории, где возможно обнаружение сохранившихся следов пребывания первобытных охотников. В пользу таких возможностей говорит случайная находка Луговского «кладбища» мамонтов и связанных с ним следов хозяйственной деятельности первобытных охотников [10]. Судя по серии ¹⁴C-датировок костей мамонта и шерстистого носорога (30, 18,5 и 16,5–11,0 тыс. лет назад — 12 дат), крупные млекопитающие были широко распространены в центральных районах Западной Сибири не только в средневалдайском интерстадиале, но и в максимум сартанского оледенения и в позднеледниковье.

Второй этап расселения (23–16 тыс. лет назад). Процесс расселения первобытных сообществ в период максимума последнего валдайского оледенения продолжался и в экстремально суровых климатических условиях. Археологические памятники этого этапа известны не только в бассейне Камы, но и в верхнем течении Печоры [3, 6]. Наиболее значительные и изученные — стоянка Талицкого (возраст 18 700±200 лет) на Чусовой и Медвежья пещера — на Верхней Печоре (17 980±200, 17 960±200, 18 700±180 и др.). Судя по археологическим данным, здесь люди обитали весьма продолжительное время. Надежно датированных местообита-

ний времени начала данной фазы расселения в этих районах пока не обнаружено. Но, возможно, к этому времени относится часть известных местонахождений следов обитания первобытных сообществ (каменных орудий и костей животных), для которых пока нет хроностратиграфических данных.

Наиболее северный памятник этого этапа — Медвежья пещера — расположен в верховьях Печоры в крупном логоу. В пещерах Северного Урала имеются многочисленные находки плейстоценовой фауны, в которой преобладает северный олень при наличии лошади, мамонта, носорога, песца и медведя. В большинстве пещер следов обитания позднепалеолитического человека не найдено. Только в Уньинской пещере и у навеса Студеный были обнаружены единичные позднепалеолитические каменные орудия. В культурном слое более южной стоянки Талицкого также преобладает северный олень, что говорит о сходных ландшафтных условиях районов верхней Печоры и средней Камы в максимум оледенения. Все это может свидетельствовать о том, что в максимум последнего оледенения человек проникал на север до верховьев Печоры, но не обитал здесь в течение длительного времени.

Позднепалеолитическое расселение в Западной и Средней Сибири связано с эпохой последнего сартанского оледенения. Севернее 60°с.ш. стоянок этого времени пока не найдено. Поскольку первобытные сообщества были уже достаточно адаптированы к низкотемпературным климатическим особенностям, главными препятствиями продвижения на север могли быть природные факторы, связанные, в частности, с развитием в долинах седиментационных и рельефообразующих процессов, которые провоцировались экстремальными условиями развития многолетней мерзлоты.

В южных районах Западной Сибири изучены несколько стоянок этого этапа: Томская, Шикаевка, Могочино, Шестаково (18.3, 18.0, 20.1. 25.6—18.0 тыс. лет назад соответственно) и др. Все они расположены южнее 57°с.ш. [10]. В Восточной Сибири известны единичные достаточно северные стоянки в долине Алдана (бассейн Лены): Верхнетроицкая и Нижнетроицкая (около 18 тыс. лет назад) [11]. Большинство памятников этого времени сконцентрировано в южных районах Сибири — области традиционного обитания палеолитических сообществ (55—56°с.ш.), где находятся и более ранние стоянки. Тем не менее существуют представления о возможности ранних проникновений палеолитических сообществ на северо-восток Евразии — в бассейн верхней Колымы, на Колымскую низменность, Камчатку и Чукотский п-ов [11, 15].

Третий, финальный, этап расселения

Первая фаза третьего этапа расселения (от 15 до 12 тыс. лет назад) совпадает с позднеледниковьем. Главная особенность последнего, финального, этапа расселения человека в эпоху палеолита заключается в том, что на территории севера Восточно-Европейской равнины памятники этого времени сконцентрированы, как правило, в ее отдельных районах. В какой-то степени они обособлены и связаны с бассейнами рек: нижней Камы, Оки, Дона, Сейма, Десны, среднего Днестра (рис.7). Признаки присутствия человека в северных районах в этот период проявляются в бассейнах средней Камы (стоянки Горная Талица, Гарчи и др.) и Печоры (Медвежья, Пымва Шор и др.).

В это время человек формирует долговременные поселения в северных районах Приуралья, размещая стоянки в пе-



Рис.7. Изучение крупных костей мамонта на стоянке Межирич в долине р.Рось (Украина). Около 15 тыс. лет назад первобытные охотники основали здесь долговременное поселение, на котором располагались четыре жилища из костей и бивней мамонта (вверху). Работа на культурном слое стоянки Быки 7 в долине р.Сейм (Курская обл.).

щерах, гротах и под навесами, где известны следы обитания палеолитических охотников.

Вторая фаза (от 12 до 10 тыс. лет назад). На эту эпоху первичного появления человека в высоких широтах приходится одно из самых значительных событий глобального уровня — его

проникновение на континентальное пространство Западного полушария.

Мнение, что человек мог впервые появиться в Америке в среднем плейстоцене, около 200—150 тыс. лет назад, — чисто гипотетическое. Предположение же о заселении этой тер-

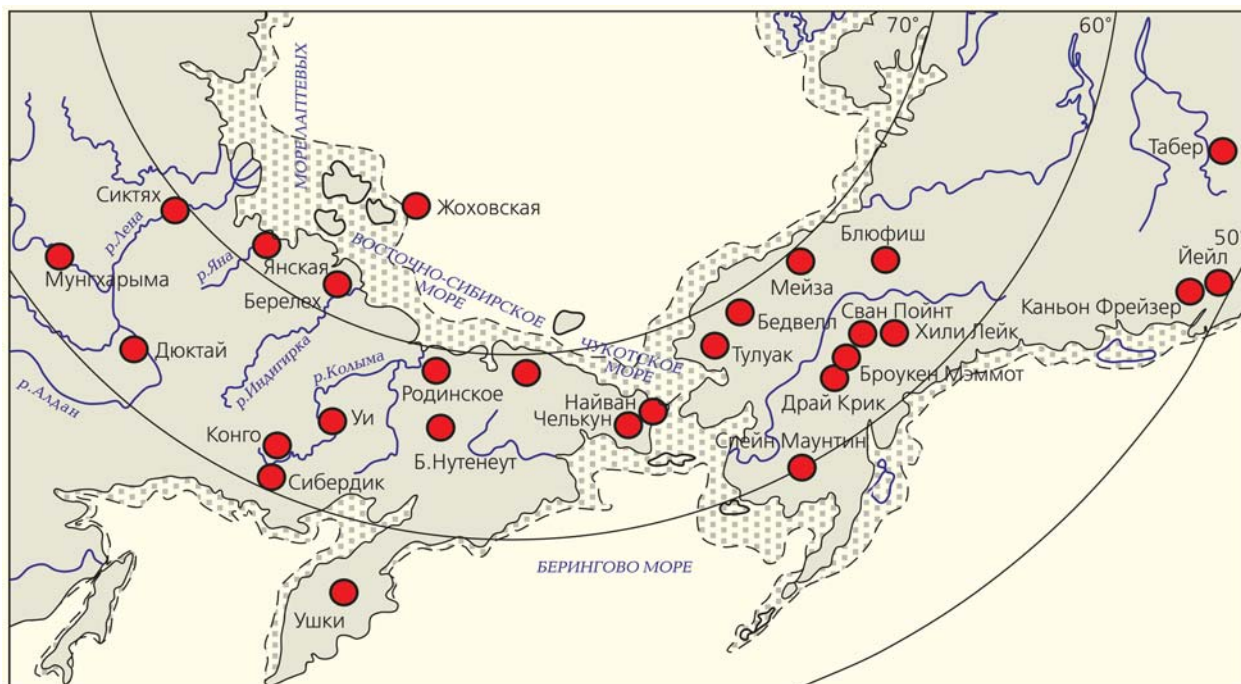


Рис.8. Стоянки финального палеолита и мезолита на территории Чукотки и Аляски эпохи миграции человека по Берингийскому «мосту» из северной Евразии в Северную Америку.

ритории около 50 тыс. лет назад логически обосновано существованием в то время Берингийского «моста», обусловленного регрессией океана. Реальных свидетельств использования «моста» в это время нет, в то же время на местонахождении Монте Верде (на юге Южной Америки, Чили) по ^{14}C получена дата $33\,370 \pm 530$ лет назад.

Не исключая вероятность «визитов», их предлагается рассматривать как «спорадические заселения» [16], не получившие в дальнейшем развития, т.е. напоминающие рейды «вперед-назад», выявляемые в палеолите Восточной Европы.

Вместе с тем существующий к настоящему времени комплекс фактических данных не оставляет сомнений в северном, берингийском, пути первоначального заселения человеком Америки от конца позднеледниковья к началу голоцена (рис.8). Самый ранний этап появления человека на Аляске приходится на время не позднее 11.6–10.5 тыс. лет назад [17].

Последующая, основная, волна освоения этой территории, относящаяся к так называемой американской палеоарктической культурной традиции, соответствует уже интервалу 10.5–8.0 тыс. лет назад, т.е. началу голоцена [16].

Есть основания считать, что древнейшее население Аляски, относящееся к так называемой Восточной Берингии, связано с населением стоянок Берингии Западной, и в первую очередь Чукотки. Среди них наиболее ранние памятники — Берелех, Майорыч, Кымынейкей, Тумурлур (13–12 тыс. лет назад) [11]. Возможно, к этому интервалу относится так называемый реликтово-палеоарктический слой местонахождения на р.Детрин в бассейне р.Колымы [17] ^{14}C -датировками $13\,225 \pm 230$ – 7865 ± 310 лет назад. На Камчатке времени распространения древнейших памятников берингийской области предшествует стоянка на оз.Ушки возрастом около 14 тыс. лет [15].

Имеются данные о генетической близости населения Се-

верной Азии и Северной Америки. С позиций археологии важный аргумент в пользу общности раннего населения по обеим сторонам Берингии — сходство в археологической культуре, в наборе каменного инвентаря [18]. А своими корнями она тесно связана с дюктайской культурой, к которой принадлежит стоянка среднего Алдана — от 23 до 12 тыс. лет назад [11]. Эти данные лежат в основе главного вывода, заключающегося в том, что истоки первоначального заселения Америки связаны с Западной Берингией, т.е. северо-востоком Азии [17].

Появление человека на Чукотке и Аляске приходится на время существенных ландшафтно-климатических изменений. Согласно существующим данным, на территории обоих регионов во время максимального развития оледенения господствующее положение занимали травянистые тундры, местами с участием ивовых и березовых кустарниковых сообществ. В по-

зднеледниковье (около 12,4 тыс. лет назад) в Западной Берингии и на Чукотке они сменяются кустарниковой березовой и березово-ольховниковой тундрой, а затем, в начале голоцена, — лесными сообществами из лиственницы даурской.

В Восточной Берингии, т.е. на Аляске, смена ландшафтных условий наступила несколько раньше — 14,3 тыс. лет назад, когда древесная растительность появляется в прибрежных районах. Во внутренних же районах Аляски в интервале 14—12 тыс. лет назад существенную роль продолжали играть травянистые тундры, которые сменились так называемым березовым этапом. Всю центральную часть Аляски 12—8 тыс. лет назад занимали тундрово-кустарничковые сообщества.

Реконструированные ландшафтные условия со всей определенностью свидетельствуют о существенном смягчении климата. Об этом же говорят и изменения в составе фауны. Если пространства перигляциальных степей и тундро-степей были предпочтительны для стад мамонтов и лошадей, то новые условия благоприятствовали распространению лосей и бизонов, костные остатки которых пре-

обладают в культурных слоях некоторых стоянок, например Драй Крик и Брокен Маммот.

Результаты анализа состава жесткокрылых из прибрежно-морских отложений Берингии, возраст которых 11,5 и 11 тыс. лет, показали, что летние температуры в это время достигали величин от 9 до 13°C, т.е. были близки к современным и даже их превышали.

Таким образом, как ранняя верхнепалеолитическая волна проникновения человека в высокие широты совпадает с эпохой потепления, так и миграция человека эпохи конца палеолита — начала мезолита из Северо-Восточной Азии в Северную Америку по Берингийскому «мосту» также приходится на начало эпохи потепления и получает дальнейшее развитие в голоцене.

Однако миграция по Берингийскому «мосту» характеризовалась определенными сложностями, связанными прежде всего с изменением уровня океана. После эпохи максимума последнего оледенения, когда регрессия Мирового океана достигала отметок около –130 м, началась трансгрессия. Ко времени начала миграции человека (около 13—12 тыс. лет назад) Берингов

пролив еще оставался осушенным и переход из Чукотки на Аляску был беспрепятственным. Но около 11—10 тыс. лет назад уровень океана мог приближаться к изобате –50 м и в осевой части Берингова пролива возникла полоса открытой воды. Преодолеть ее можно было только полярной ночью в зимнее время, когда она оказывалась скованной льдом. Однако, если основываться на реконструкции летних температур около 11,5 тыс. лет назад — близких к современным или даже теплее их, можно предполагать несколько более раннее подтопление Берингии.

По какому же пути могли продвигаться первые поселенцы Аляски (культура ненана) на юг? Рассматриваются два варианта (рис.9). Человек мог использовать коридор между Кордильерской и Лаврентийской ледниковыми системами (однако он закрылся около 30—25 тыс. лет назад и мог начать восстанавливаться лишь после 13 тыс. лет назад) [19].

Вероятно и продвижение на юг вдоль «кромки» западного побережья, которое местами начинало освобождаться от покровов льда уже 16 тыс. лет назад, а к 13 тыс. лет назад прак-

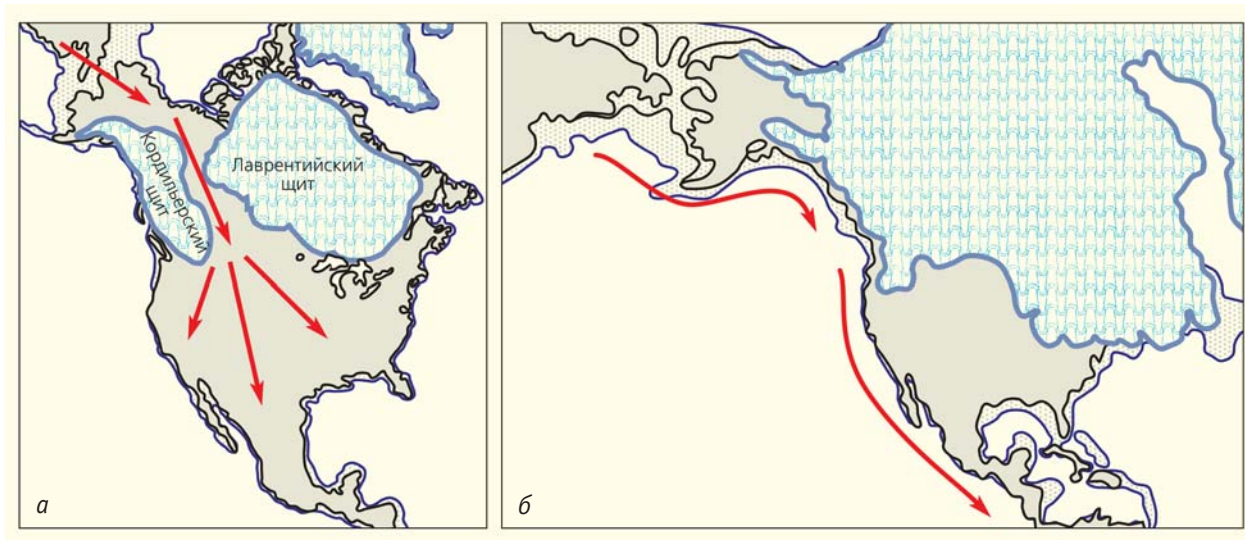


Рис.9. Два варианта первоначального распространения человека по территории Северной Америки: а — по коридору между Лаврентийской и Кордильерской ледниковыми системами, б — вдоль Тихоокеанского побережья [17].

тически вся полоса побережья стала доступной для миграции. При этом варианте человек был лучше обеспечен пищевыми ресурсами за счет морской и береговой фауны и флоры. В целом, сопоставляя данные по первоначальному распространению человека на севере Евразии и в Северной Америке, можно видеть два различных типа, как бы две географические модели инициального освоения человеком пространств глобального уровня: в Евразии процесс шел с юга на север, а в Америке, наоборот, с севера на юг.

Время первичного расселения человеческих сообществ в северных регионах Сибири следует, вероятно, расширить до интервала 15—10 тыс. лет назад. Это связано с тем, что имеющиеся в настоящее время ¹⁴C-датировки стоянок позднего и финального палеолита составляют диапазон от 14 до 10 тыс. лет назад, а большая группа более молодых памятников возрастом от 10 до 8 тыс. лет относится либо к палеолиту, либо к мезолиту [16]. Наиболее ранние памятники традиционно сконцентрированы в Южной Сибири [4, 10]. Самые северные из них расположены в бассейне Лены, на широте около 60° с.ш. и севернее. В Западной Сибири северные памятники известны лишь на широте 59° с.ш.

Третья фаза, голоцен. Около 10 тыс. лет назад люди финального палеолита и мезолита проникают на север Европы и в Скандинавию вслед за отступающим ледниковым покровом последнего оледенения. Многочисленные мезолитические памятники начала голоцена (9.5—7.5 тыс. лет назад) распространены в различных регионах Северной Европы.

Области распространения стоянок этого времени охватывают не только Западное Приуралье (бассейны Камы и Печоры), но и более западные регионы (бассейны Вычегды, Северной Двины, Онеги). По мере де-

градации скандинавского ледникового покрова человек осваивает Кольский п-ов, Карелию и Финляндию.

Наиболее ранние (10—8 тыс. лет назад) в Сибири мезолитические памятники в большинстве случаев полнее изучены в районах распространения палеолитических стоянок. При этом известно несколько стоянок, расположенных в арктических регионах Сибири и Дальнего Востока. Из этого следует, что активизация освоения севера Сибири, как и Европы, произошла в начале голоцена, когда трансформации ландшафтов открыли возможности дальних миграций первобытных сообществ.

Более широкое распространение в Северной Евразии неолитических памятников по сравнению с северными территориями Западного полушария в основном связано с расширением возможностей выбора различных местообитаний (от южных степей и лесных зон до арктических тундр), а также разделения охотничьих специализаций.

Значительно расширился и выбор участков обитания, в круг которых входили не только традиционные террасы и водораздельные склоны речных долин, но и озерные, морские побережья, а также заболоченные территории (торфяниковые памятники), что определялось разнообразием специализаций присваивающего типа хозяйства. Суровые ландшафтно-климатические условия Заполярья уже не были препятствием для активного освоения человеком этих территорий. Наиболее северные стоянки Евразии изучены на севере Финляндии, в Карелии, на Кольском п-ове, в низовьях Северной Двины, Печоры и Оби, на Таймыре, в низовьях Лены, Яны, Индигирки и Колымы, а позднее — на о.Жохова. Для неолитических памятников имеется большое количество радиоуглеродных датировок, но главным

для корреляций стоянок в большинстве случаев остаются археологические данные, составляющие основу систематизации различных культур.

С заключительным этапом первичного расселения человека в северных районах Северной Евразии и Северной Америки связано освоение древними эскимосами арктической части Нового Света и Гренландии. Эти пионерные сообщества заселяли территории Чукотки, Аляски и канадской Арктики в течение короткого хронологического интервала — 4—3 тыс. лет назад. Общность хозяйства и хронологии расселения палеоэскимосов говорит об их связях с единой волной дальних миграций. Все известные стоянки Гренландии находятся в прибрежных зонах запада и востока.

Основу хозяйственной деятельности этого населения составляла охота на морских животных (тюленей, моржей и китов) и, в меньшей степени, мускуных быков, карибу и птиц. Можно полагать, что климатические условия финала оптимума голоцена (открывавшие пути дальних миграций в Канадском архипелаге и в Гренландии) позднее изменились, что существенно ограничило возможные миграции.

Главная особенность неолитического расселения первобытных сообществ (6—3 тыс. лет назад) — активное освоение различных регионов и территорий, бывших недоступными для человека не только в позднем плейстоцене, но и в начале голоцена.

Запаздывающее по сравнению с севером Евразии освоение территории Северной Америки (Канадского Севера) было связано с тем, что в первую половину голоцена значительные массивы льда, принадлежащие Лаврентийскому ледниковому щиту, еще сохранялись вплоть до Гудзонова залива. С наименьшими сложностями было связано достижение берегов Гренландии, путь к которым проле-

гал через покрытые льдами острова Канадского архипелага и торосы морских льдов проливов Баффинова моря.

* * *

Таким образом, освоение Арктики и Субарктики — заклю-

чительная часть глобального процесса инициального распространения человека на Земле. Освоение высоких широт характеризовалось высокой пространственной и хронологической неравномерностью. Обширная территория Северной Евразии,

основная часть которой к востоку от Скандинавии в позднем плейстоцене и голоцене оставалась свободной от крупных ледниковых систем, служила ареной первоначального расселения на протяжении всех этапов этого процесса. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 07-06-00087.

Литература

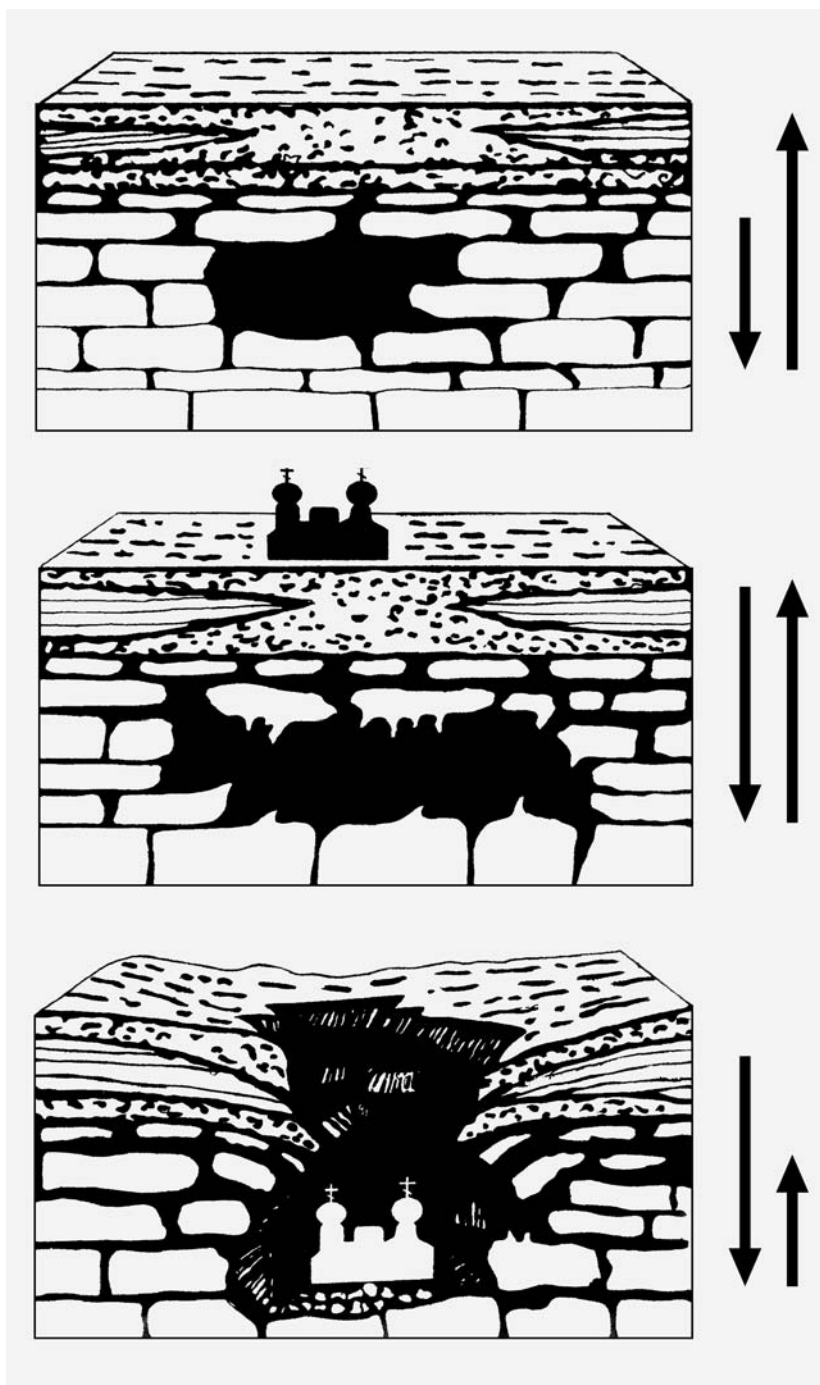
1. *Зубов А.А.* // Вестник антропологии. 2005. Вып.12. С.12—21.
2. *Величко А.А., Долуханов П.М., Куренкова Е.И.* Система адаптации: человек — социально-хозяйственная адаптация — окружающая среда в палеолите, мезолите и неолите // *Путь на Север: окружающая среда и самые ранние обитатели Арктики и Субарктики.* М., 2008. С.14—32.
3. *Канивец В.И.* Палеолит крайнего северо-востока Европы. М., 1976.
4. *Величко А.А., Грибченко Ю.Н., Абрамова З.А. и др.* Первобытное общество и окружающая среда. Поздний палеолит // *Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов северной Евразии за последние 130 000 лет: Атлас-монография.* М., 2002. С.138—146.
5. *Свендсен Й.И., Павлов П.Ю., Хеген Х. и др.* Природные условия плейстоцена и палеолитические стоянки на севере западного склона Уральских гор // *Путь на Север: окружающая среда и самые ранние обитатели Арктики и Субарктики.* М., 2008. С.79—97.
6. *Павлов П.Ю.* Древнейшие этапы заселения севера Евразии: северо-восток Европы в эпоху палеолита // *Северный археологический конгресс: Доклады.* Екатеринбург; Ханты-Мансийск, 2002. С.192—209.
7. *Грибченко Ю.Н.* Первичное расселение палеолитического и неолитического человека на севере Восточно-Европейской равнины // *Путь на Север: окружающая среда и самые ранние обитатели Арктики и Субарктики.* М., 2008. С.107—133.
8. *Абрамова З.А.* Палеолит северной Азии // *Палеолит мира. Палеолит Кавказа и северной Азии.* Л., 1989. С.145—243.
9. *Деревянко А.П., Дроздов Н.И., Чеха В.П.* Археология, геология и палеогеография палеолитических памятников юга Средней Сибири (Северо-Минусинская впадина, Кузнецкий Алатау и Восточный Саян). Красноярск, 1992.
10. *Васильев С.А., Абрамова З.А., Григорьева Г.В. и др.* Поздний палеолит северной Евразии: палеоэкология и структура поселений. СПб., 2005.
11. *Мочанов Ю.А.* Палеолит Сибири (некоторые итоги изучения) // *Берингия в кайнозое.* Владивосток, 1976. С.540—565.
12. *Питулько В.В., Павлова Е.Ю., Кузьмина С.А. и др.* // Доклады АН. Т.417. №1. 2007. С.103—108.
13. *Левитан М.А., Лаврушин Ю.А., Штайн Р.* Очерки истории седиментации в Северном Ледовитом океане и морях Субарктики в течение последних 130 тысяч лет. М., 2007.
14. *Архипов С.А., Волкова В.С., Зольников И.Д. и др.* Западная Сибирь // *Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена).* М., 1999. С.84—109.
15. *Диков Н.Н.* Палеолит Камчатки и Чукотки в связи с проблемой первоначального заселения Америки. Магадан, 1993.
16. *Dixon E.J.* // *Quaternary Science Reviews.* 2001. V.20. №1—3. P.277—299.
17. *Диков Н.Н.* Археологические памятники Камчатки, Чукотки и Верхней Колымы. Азия на стыке с Америкой в древности. М., 1977.
18. *Деревянко А.П., Шуньков М.В.* Индустрии с листовидными бифасами в среднем палеолите Горного Алтая // *Археология, этнография и антропология Евразии.* №1. Новосибирск, 2002. С.16—42.
19. *Powers W.R., Hoffecker J.F.* // *American Antiquity.* 1989. V.54. P.263—287.

Озеро Ендовище

А.И.Рыжиков,
кандидат экономических наук
г.Темников (Мордовия)

В каждой местности встречаются интересные природные образования, вокруг которых складываются легенды и сказания. Вблизи г.Темникова такой объект — оз.Ендовище. В 1972 г. я приехал в город впервые и, побывав на озере, был поражен его красотой. Понемногу начал собирать все известные о нем сведения. Местные жители, как обычно в таких случаях, мало интересовались озером и относились к нему безразлично. Об этом писал еще Г.Конвенц в начале XX в.: «Из-за равнодушия и глупости, из-за недостатка воспитания чувства милосердия и из-за жестокости уже повреждены или уничтожены некоторые достопримечательности природы. Конечно, вызывает радостное одобрение, когда жители больших городов выезжают в лес, чтобы там отдохнуть и развлечься. Но вместо того, чтобы пользоваться правом каждого на общественную собственность с бережным отношением и заботой о ней, нередко имеет место всеобщее равнодушие» [1]. Это вполне относится к оз.Ендовище. На его берегах бутылки, обертки, кострищи, следы мытья автомобилей и другие продукты человеческой деятельности.

Впервые озеро описал в 1876 г. учитель темниковской гимназии Н.С.Рейтаров: «Вероятно, вследствие отдаленного геологического переворота, образовался провал, находящийся в двух верстах около города Темникова, против самого женского монастыря. Этот провал образует продолговато-круглую воронку, имеющую в самом уз-



Возможный механизм образования провала оз.Ендовище под тяжестью якобы строившейся церкви.

ком месте не менее версты; а в глубину простирается, по отвесу, до 20 сажен. На дне воронки находится озеро, края которого поросли камышом и осокою. Вода провала очень щелочна, скоро выбеливает полотна и белье; делает у моющихся морщины на руках, как бы от искусственного зольного щелока. Поверхность воды — цвета вороненой стали, защищенная высокими отлогостями, всегда спокойна и лишь изредка покрывается рябью. У края озеро мелко, песчано; середина же очень глубока; повышение и понижение уровня воды не замечается. Неизвестно, есть ли в нем рыба, но конских пиявок множество. Вся окрестность понижается к провалу. Верхний слой окрестной почвы — красная глина, употребляемая для выделки хороших кирпичей. Это «ендовище», лежит рядом с большой дорогой, имеющей слой песчаный. Через дорогу находится овраг, выходящий на Мокшанскую дорогу. Дорога опустилась в этом месте, образовав широкий дол.

На скатах, обращенных к Мокше, на высоте их растет тощий тростник, и материк в этих местах и теперь еще осаживается и обваливается внутрь горы, будто в пустоту. Скаты эти покрыты зарослями чернолесья на тощей черноземной почве. Об этом воронкообразном провале, или «ендовище», существует предание, что на этом месте была некогда деревня с церковью (село с тремя церквями — по иным), вдруг скрывшаяся под землю и оставившая на этом месте озеро» [2].

К этим литературным свидетельствам об оз.Ендовище, которые мне удалось найти, можно добавить и устные предания: что озеро имеет сообщение с р.Мокшей; что выпущенную в озеро меченую щуку потом поймали в реке; что озеро бездонно; что в нем нет-нет да возникают водовороты, которые засасывают пловцов, чем и объясняется частая гибель людей в летнее время.



Оз.Ендовище. Вид с восточного берега.

В 1976 г. с группой преподавателей Темниковского техникума решили проверить легенду о бездонности озера. Поплавали на байдарке, но глубины больше 4 м не нашли. Однако эти данные не позволяли сделать батиметрическую карту озера — лодку невозможно фиксировать в плоскости координат.

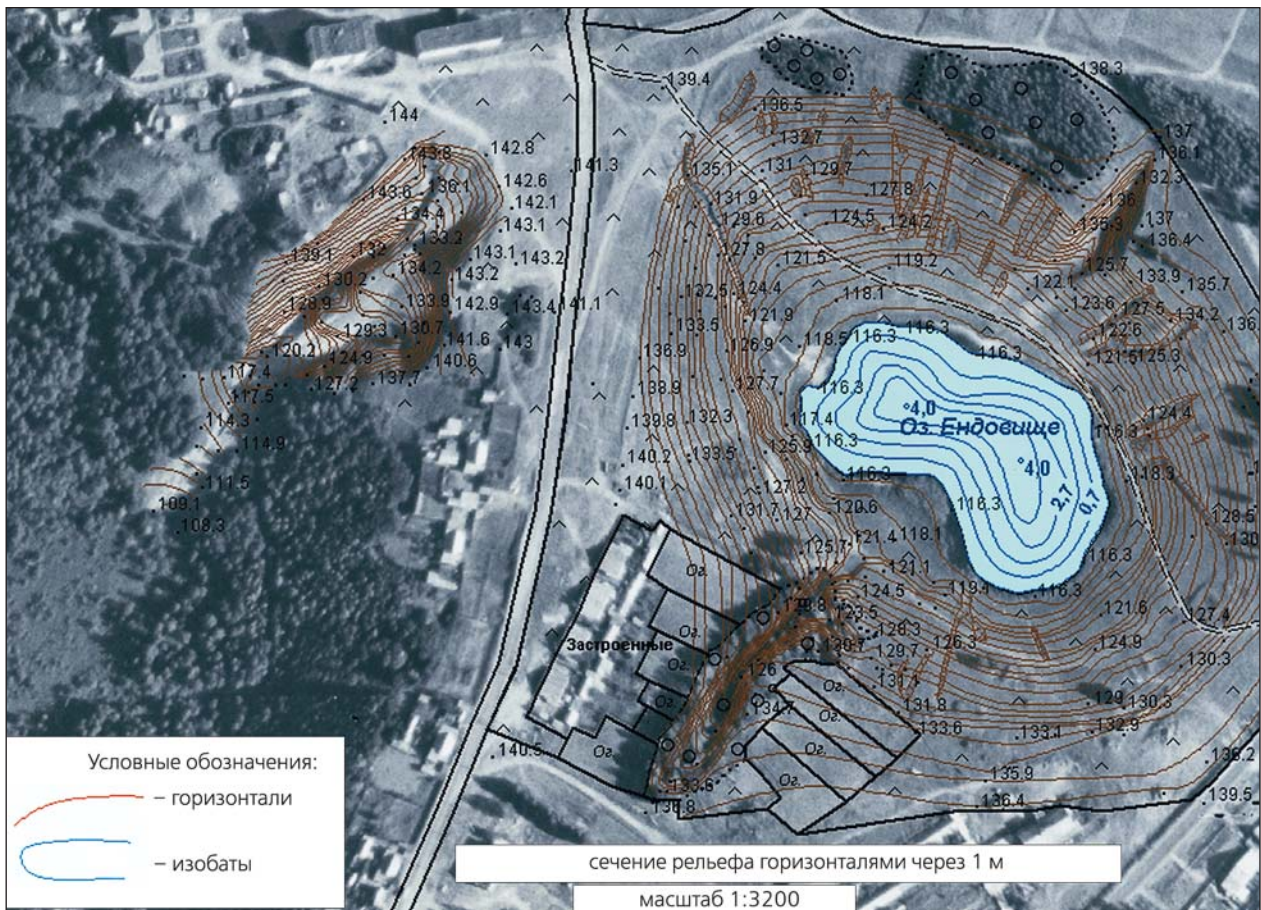
Предварительные обследования показали, что впечатляющего размера впадина оз.Ендовище несомненно карстового происхождения. Позже выяснилось,

что ее длина составляет почти 500 м (Рейтаров ошибся вдвое), а глубина от бровки до уреза воды 22 м, а не 40, как у Рейтарова. Это, пожалуй, самая большая карстовая воронка на Русской равнине.

Площадь воронки озера составила 11.99 га, а площадь самого водоема — 1.95 га. По результатам теодолитной съемки был вычерчен план котловины и отдельно, в масштабе 1:1000, — самого озера, которое по форме представляло собой



Первые инструментальные промеры глубин озера.



Топоплан с батиметрической картой урочища оз.Ендовище по съемкам 2006 г.

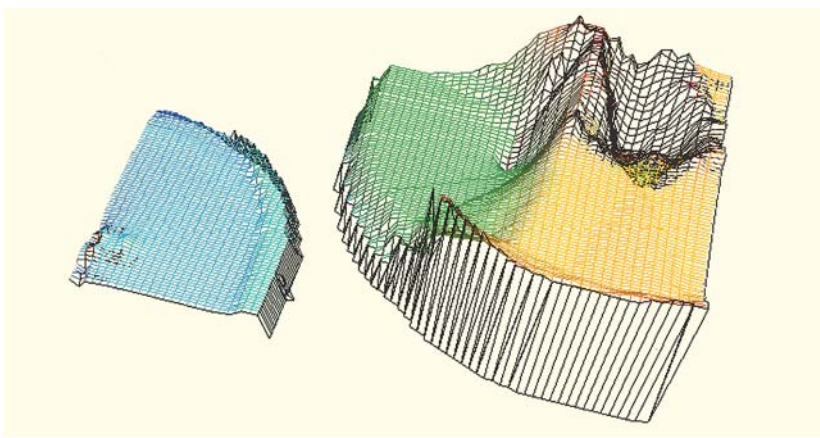
фасолину. Этот план пригодился нам зимой.

Всех, конечно, интересовала глубина озера. И в одно прекрасное воскресенье мы вышли на лед и заложили пять глубинных разрезов. Прорубили лун-

ки по двум продольным и трем поперечным разрезам. Промерили глубины. К удивлению студентов, они оказались совсем незначительными. Самая большая составила 4.25 м в северо-западной части озера. Как

раз там, где, по Рейтарову, «вваливался грунт внутрь горы». Кстати, краевед А.А.Чернухин утверждал, что глубина озера 15 м (но как были получены эти данные, неизвестно) [4]. По промерам глубин оз.Ендовище на плановой основе была создана его первая батиметрическая карта.

А потом обычными геодезическими методами вычислен объем грунта, «ввалившегося внутрь горы». Он составил почти 1.5 млн м³, т.е. подземная пустота, куда провалился грунт, имела тот же объем. Поскольку его следов нигде не было обнаружено, видимо, грунт остался в подземной пустоте и унесен куда-то далеко. Огромные карстовые подземные пустоты — не редкость. Например, Мамонтова пещера в США имеет общую длину ходов и залов до 150 км.



Каркасная модель местности (р.Мокша — оз.Ендовище).

По результатам тахеометрической съемки были вычислены объемы оврагов — Лесного и Польного. Это понадобилось нам для того, чтобы вычислить первоначальную глубину воронки, куда сносился весь грунт. Зная его объем и площадь поверхности озера, вычислить высоту конуса не составляло труда. Оказалось, что горловина карстового провала (понора) находится на глубине 10.85 м, т.е. общая его глубина составила 32.85 м.

Не подтвердилась и легенда о подземном ходе между р.Мокшей и озером. По результатам нивелирования выяснилось, что даже пойма р.Мокши на 4 м ниже уреза воды в Ендовище.

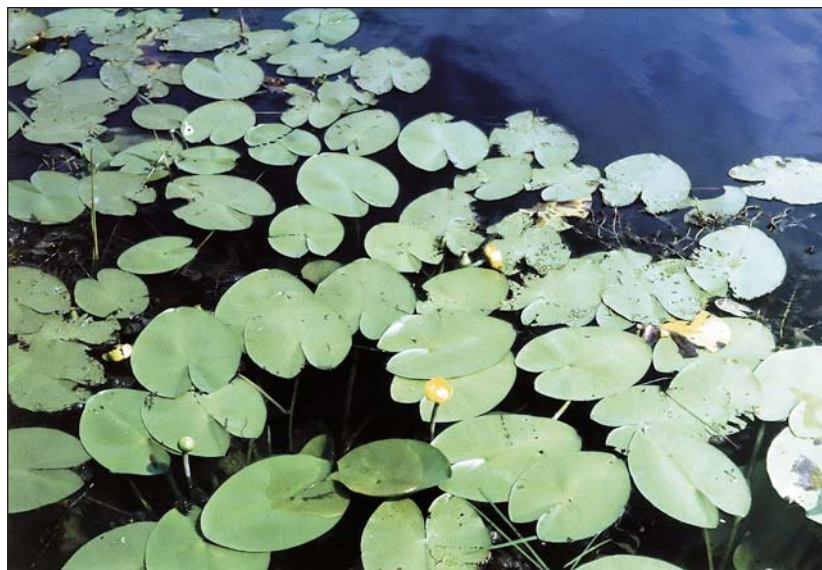
Некогда посаженный на берегах озера лес большей частью прижился и сейчас оживляет их. Само озеро переживает период евтрофикации, постепенно зарастает и мелеет. Вода стала мутной, сменилось и рыбье население. Сначала водоем был заселен карасями золотым и серебряным, а сейчас там только голяны и ротаны. Исчезли в озере конские пиявки, ронатры палочковидные, ручейники, зато в обилии появились лилии.

Осенью 2006 г. студенты решили сделать новые промеры озера с помощью новейших геодезических инструментов и проинвестировать компьютерную обработку результатов.

Мне же интересно было узнать, насколько ошиблись в 1976 г. первокурсники, работая геодезическими приборами, изготовленными еще в середине XX в. Вполне понятно, что я испытывал некоторое беспокойство, ведь наши данные уже вошли в справочники по Мордовии.

Но при обработке данных, полученных с помощью электронного тахеометра, оказалось, что, хотя они и расходятся с данными 1976—1977 гг., но не настолько, чтобы им не верить (табл.).

Электронный тахеометр позволил проложить ход от уреза воды оз.Ендовище до уреза воды



Желтые кубышки захватывают все больше водной поверхности.

р.Мокши. Оказалось, что разница высот составляет 14.5 м. Естественно, ни о каком подземном сообщении между рекой и озером быть не может.

Было выявлено, что самая высокая точка водораздела озера и долины реки равна 144 м. На этом основании можно утверждать, что образование провала оз.Ендовище имеет внутренние, а не внешние причины. Здесь не могли скапливаться та-

лые и ливневые воды, которые, просачиваясь, растворили бы известняки, лежащие на глубине около 200 м. Следовательно, карстовая пустота образовалась в результате действия подземных вод.

Компьютерные методы позволили составить каркасную модель ландшафта территории (оз.Ендовище — р.Мокша) и гипсометрическую кривую между бассейнами озера и реки,

Таблица

Параметры воронки озера Ендовище

Показатели	Исследования	Исследования
	1976 г.	2006 г.
Площадь воронки, га	12.00	11.877
Площадь акватории озера, га	1.95	1.772
Объем грунта воронки озера, м ³	1 345 673	1 215 888
Объем воды в озере, м ³	38 556	39 933
Глубина воронки от бровки до уреза воды в озере, м	22	20
Глубина озера, м	4.25	4.00
Первоначальная глубина воронки от бровки до поноры, м	36.25	
Длина воронки, м	442	
Превышение между урезом воды в озере и в р.Мокша, м		14.5
Объем грунтов, вынесенных из оврагов, м ³ :		
— Лесного		6245
— Польного		3011



Геодезические работы на Ендовище (мензуральная съемка).

о чем в 1976 г. не приходилось и мечтать.

План захватил «широкий дол» к запад-северо-западу от оз.Ендовище, описанный Рейтаровым, он сохраняется и до сих пор, но сильно разбит коровьими копытами. Правда, с уменьшением численности стада дол весьма быстро зарастает травами и кустарниками.

Овраги за 30 лет своего существования не претерпели больших изменений. Параметры оказались равными тем показателям,

что были получены в 1976 г., т.е. усиленного развития эрозии не наблюдалось. Единственное, что не удалось сделать в 2006 г., — это новые промеры глубин оз.Ендовище. Но в этом виновата экстремально теплая зима. До второй половины декабря льда на озере не было. Позже он появился, но был весьма тонким. Однако, думается, что изменения в перепадах глубин обнаружено не будет. Просто глубины уменьшатся в связи с эвтрофикацией озера.

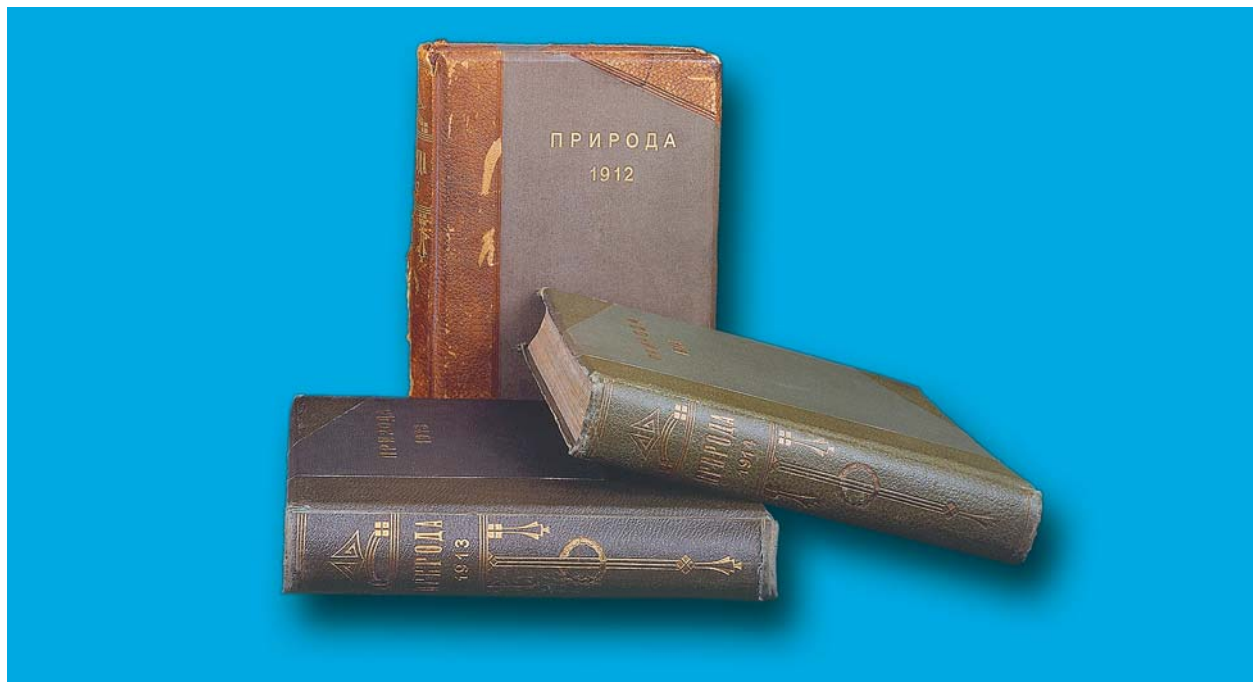
Остается добавить, что легенда о водоворотах, время от времени засасывающих пловцов, не имеет оснований. Летом относительно много людей действительно тонут в озере. Но виной тому, пожалуй, резкие перепады температур на глубине около 1,5 м, характерные для многих водоемов со слабопроточной водой. Верхний ее слой довольно сильно нагревается, но ввиду спокойного состояния воды в котловине не смешивается с более глубоким холодным слоем. Человек, попадая в холодный слой, может утонуть из-за начавшихся судорог. Так что купаться в озере можно только в проверенных местах.

Таким образом, исследование оз.Ендовище растянулось на 30 лет, а смотреть на него можно бесконечно...

При багровом закате озеро кажется слитком золота в темной оправе берегов. Поздней весной, когда еще стоит лед, по вечерам котловина озера начинает заполняться туманом, который поднимается, колыхается, колеблется и, наконец, переливается через южную окраину воронки в сторону Савинова оврага. Создается впечатление, что течет белая река. Не отсюда ли в русских сказках появился образ молочной реки с кисельными берегами? ■

Литература

1. Гамезо М.В., Говорухин А.М. Справочник офицера по военной топографии. М., 1963.
2. Рейтаров Н.С. Город Темников и его уезд // Памятная книжка Тамбовской губернии на 1876 год. Тамбов, 1876.
3. Рыжиков А.И. Озеро Ендовище как замечательный геологический объект экскурсий и изучения // Экскурсии в геологию. IV Междунар. конф. «Геология в школе и в вузе: геология и цивилизация». СПб., 2005. С.120—121.
4. Чернухин А.А. Записки краеведа. Саранск, 1960.



Новая рубрика

Через два года, в январе 2012-го, исполнится 100 лет со дня появления на свет естественно-исторического журнала «Природа». Он начал издаваться в Москве силами крупнейших ученых страны на собранные ими средства. С 1921 г. он стал выходить в Петрограде как издание Российской академии наук, а в 1952 г. вернулся в Москву. «Природа» знала тяжелые времена, но на протяжении своего долгого пути выходила без перерывов — ее несли на своих плечах те, кто творил отечественную науку и хотел, чтобы об их делах знала страна.

С изданием «Природы» связаны звездные имена. На разных этапах ее возглавляли Н.К.Кольцов, А.Е.Ферсман, Л.А.Тарасевич, О.Ю.Шмидт, которые прилагали немало усилий к тому, чтобы «Природа» возможно полнее отражала жизнь науки. Открывая новую рубрику «О чем писала “Природа”», мы хотим показать преемственную связь между прошлым журнала и настоящим. Предполагается публиковать из номера в номер примечательные статьи и заметки многолетней давности.

Эту рубрику открывает статья Владимира Александровича Вагнера (опубликованная в майском номере за 1912 г.). Интересная сама по себе, она позволяет представить нашему читателю человека, который был основателем (наряду с Л.В.Писаржевским) и первым редактором журнала. Яркая личность Вагнера в свое время заинтересовала А.П.Чехова — он признавался, что списал с него образ фон Корена, одного из главных героев повести «Дуэль»*. Примечательно, что Чехов и Вагнер задумали было издавать естественно-научный журнал под названием «Натуралист» и расписали план издания, вплоть до рубрик, наметили авторов, но проект не был осуществлен — не нашлось издателя**. Это было задолго до рождения нашего журнала, но в 1912 г., когда уже давно не стало Чехова, Вагнеру удалось осуществить давний замысел — появилась «Природа».

Интересно, что в статье Вагнера (задиристого фон Корена) мы находим далекие отголоски полемики, которой пронизана упомянутая повесть. Возможно, кому-то из наших читателей, специалистов в области зоологии и психологии, захочется в чем-то опровергнуть Вагнера, глядя на его рассуждения с современных позиций, — милости просим на страницы нашего журнала, где давно уже пустует раздел «Резонанс».

Н.В.Успенская

* Чехов А.П. Письма. Т.4. С.247.

** Отдел рукописей ГПБ. Ф.331. К.38. Ед. хр.3.



ПРИРОДА.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ

ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННО - ИСТОРИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛЪ ДЛЯ САМООБРАЗОВАНІЯ

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

проф. В. А. Вагнера и проф. Л. В. Писаржевскаго.

Философія естествознанія. Астрономія. Физика. Химія. Геологія съ палеонтологіей. Минералогія. Общая біологія. Зоологія. Ботаника. Человѣкъ и его мѣсто въ природѣ.

МАЙ.

МОСКВА.

1912 г.

Биология и общественные науки

Профессор В.А.Вагнер

При историческом обществе Санкт-Петербургского университета по инициативе наших известных социологов М.М.Ковалевско-го и Е.В.де Роберти возникает секция общественных наук (социологический отдел). Нельзя не приветствовать этого нового чрезвычайно интересного и давно назревшего начинания. Нельзя вместе с тем на страницах нашего журнала, который поставил себе задачей изучение природы и места, занимаемого в ней человеком, не высказать своего взгляда на роль биологии в решении сложных задач обществоведения, и это тем более, что с этой новой дисциплиной науки повторяется тот же ряд ошибок, который повторялся при возникновении всякой новой отрасли человеческого знания.

Сначала робкие шаги новорожденного, потом скорый рост и стремление подчинить себе соседние дисциплины наук. Затем борьба за положение, а еще далее отступление от несоответственных притязаний, преследование противников, которые стремятся низвести претендента на господствующую роль, если можно, к нулю и, наконец, после бесчисленных перипетий борьбы выяснение и определение истинного положения и соотношения борющихся за право на влияние сторон.

Так было в споре психологов с физиологами, которые сначала скромно заявили свою претензию

на решение задач психологии, затем объявили эту область знания своим исключительным достоянием, а в конце концов заявили, что психологии нет вовсе, что это — звук, лишенный содержания, а есть только физиология нервной системы.

Так было с общей биологией и эмбриологией, которая сначала скромно предъявила свои претензии на участие в решении биологических вопросов, которые Дарвин и Уоллес считали возможным исследовать только путем изучения взаимоотношения организмов в среде, а в конце концов заявила, что нет никакой биологии в смысле Дарвина и Уоллеса, ибо все те вопросы, которые они решали путем изучения жизни в природе, гораздо точнее решаются в лаборатории путем изучения гистологии и эмбриологии.

Так было и так еще долго будет при столкновении нового со старым.

Так именно случилось и с историей отношения биологии к социологии за 3/4 века ее существования. Общество и законы, управляющие его жизнью, изучались гораздо раньше, чем на свет явился самый термин «биология». С полной определенностью указал на ее роль Конт¹, который опре-

¹ Огюст Конт (1798—1857), французский философ. — Здесь и далее *примеч. ред.*

делил новые задачи самой науки об обществе, назвав ее социологией и признав ее заключительной главой биологии.

Сначала последняя скромно заявила о своем праве на участие в решении вопросов социологии; но после Спенсера¹ и особенно Дарвина она уже начинает претендовать на господствующую роль в решении этих задач, а с этим вместе начинается и ожесточенная борьба за главенствующую роль обеих наук.

Социология стремится если не упразднить, то умалить до последних пределов значение биологии в решении ее задач. В свою очередь, биология хочет захватить эти задачи в свои руки, а после Дарвина утверждает уже, что решение вопросов социологии составляет исключительно ее право и что вне биологии нет других способов для познания явлений общественной жизни.

Этот последний момент в борьбе биологов с социологами представляется чрезвычайно интересным и заслуживает глубокого внимания.

Мы переживаем эпоху, когда, по мнению одних (главным образом социологов, разумеется), биологии нечего делать в социологии, так как психология животных к основным задачам социологии никакого отношения не имеет.

По мнению других (главным образом биологов, разумеется), социология без биологии обречена на праздную болтовню, за которой, кроме рассуждений более или менее глубокомысленных, более или менее разнообразных, ничего другого не значит.

Ясно, что момент более точного самоопределения и вследствие этого примирения враждующих сторон еще не пришел и на вопрос, где истина в этом споре, приходится еще доказывать, выяснять, устанавливая на основании данных, имеющих в распоряжении того или иного автора.

История борьбы сторон в главных моментах такова.

Первые робкие шаги биологов в качестве социологов начинаются описаниями государства пчел и муравьев, которыми читатели вводятся, так сказать, в свой собственный круг. Описывая жизнь этих животных, биологи на них упражняются в решении общественных вопросов.

«У человека нет ничего, чего бы не было у животных»: это лозунг 60-х и 70-х годов; а из него уже само собой следует: что справедливо для муравья, справедливо и для человека. Повествуя о жизни животных, сопровождая эти повествования критическими замечаниями, биологи сначала таким образом косвенно и, так сказать, мимоходом устанавливают точку зрения и на вопросы общественной жизни по данным «точного знания».

Это — начальные и робкие шаги пионеров биосоциологии. Одним из первых хронологически

является известный в свое время Карл Фогт², за ним профессор Клаус³, по учебнику которого многие годы обучались зоологии германские и русские студенты, а затем уже целая плеяда писателей и ученых.

Вот что между прочим писал Клаус в 60-х годах прошлого столетия.

«Государства пчел представляют союз с разветвленным и богатым разделением занятий. Здесь мы встречаем тысячи особей с разнообразным строением тела, соединенных между собой для совместной жизни.

Каждый отдельный член этого союза исполняет ограниченную часть общей задачи, заключающейся в сохранении жизни этих членов. Поставленный отдельно от своих товарищей, член подобного союза не может продолжать своего существования, если будет уничтожен общественный союз».

Начиная так описание государства пчел, автор чувствует, однако, некоторое смущение перед эволюционной теорией, которой является горячим сторонником: государство животных оказывается не на вершине животного царства, а где-то посредине. Смущение это он устраняет следующей оговоркой.

«Может быть, многих удивит то обстоятельство, что мы, признавая существование животного государства в совершеннейшей его форме у низших животных, принадлежащих к классу насекомых, отвергаем существование этого государства среди животных гораздо более совершенных, которым нельзя отказать ни в известной степени умственного развития, ни в известной способности к совершенствованию.

Это объясняется тем, что у высших животных ограниченность умственных способностей, не могущих возвыситься до разума, полагает неопределенные пределы развитию разделения труда.

У низших животных беспощадная необходимость ведет непосредственно, обходя индивидуальную свободу, прямо к цели, т.е. к общественности.

Работа, которую может и должен производить каждый член общества сообразно устройству своего тела и естественной потребности своего организма, является целесообразной деятельностью в ряде работ всего союза.

Она удовлетворяет лишь незначительной части потребностей союза, но при существующем разделении занятий представляется лучшим средством к поддержанию жизни всего союза, хотя это значительная работа и не переходит в сознание производящего работу члена».

Выходит так, что высшие животные разумны, но мало, а у пчел явилась беспощадная необходимость. Но на такие мелочи не стоило обращать внимания, и автор спешит «к делу».

² Карл Фогт (1817—1895), немецкий философ.

³ Карл Клаус (1835—1899).

¹ Герберт Спенсер (1820—1903), английский философ и социолог.

«В каждом пчелином улье мы непременно находим одну пчелу, резко отличающуюся от других по ее строению и гладкому стану и по большому туловищу.

Эта единственная вполне развитая самка всего улья, около существования которой вертится вся жизнь и деятельность целого союза, — есть его царица. Отношение всего улья к этой пчеле было замечено еще в древности, и поэтому название царицы за ней укрепилось уже очень давно.

В самом деле эта пчела может быть рассматриваема как сущность всего населения, как общая их мать и эта последняя в буквальном смысле, так как она в произведении на свет молодого поколения, способного к работе и защите улья, обуславливает обновление и развитие населения.

И в этом смысле самка заключает в себе самой сущность всего государства. Слова: *“L'etat c'est moi”*¹ находят себе полное применение в пчелином государстве.

Царица не принимает никакого участия в общей работе ни внутри улья, ни вне его. Все ей необходимое она находит возле себя: рабочие пчелы предлагают ей сладкие сок и меды.

Самцы, или трутни, число которых в населенном улье в летние месяцы доходит до тысячи, отличаются также значительными отклонениями. Не следует искать у трутней той храбрости и силы, которыми в значительной степени одарены рабочие пчелы. Трудолюбием и способностью к труду они также не отличаются, так как их организм недостаточно приспособлен для собирания пищи и переработки сырого материала. Из этого обстоятельства само собой следует, что если самка-царица по тем или другим причинам начинает откладывать яички, дающие только трутней, то лишь свержение такой царицы может спасти от верной гибели это пчелиное царство. И часто народ приступает к этому единственному в подобных случаях спасительному средству и принимает меры к замещению трона.

Природа жестоко мстит трутням за их утопающее в роскоши существование. Пчелиный народ терпит их в своей среде только в течение нескольких летних месяцев, во время роения.

В нормальном пчелином царстве монархия опирается на силу и способности главной массы населения, состоящей из рабочих пчел.

Рабочие пчелы заботятся как о пропитании, так и о защите государства.



В.А.Вагнер ко времени основания им журнала «Природа».

В противоположность обществу некоторых муравьев и термитов, у которых сохранение и защита союза *вверяется* особому *военному сословию*, у пчел обязанность эта лежит на каждой единице народа; и каждая рабочая пчела принимает участие в защите отечества с удивительным самопожертвованием.

Если чужестранец является в улей не с пустыми руками, его встречают любезно, но если он осмелится войти в чужой улей без запаса жизненных продуктов и таким образом навлекает на себя подозрение в бесчестном браджничестве или в намерении произвести грабеж, то его без церемонии выпроваживают и даже преследуют и закалывают.

Работы внутри улья производятся в строгом порядке и с

единодушной взаимопомощью всех членов, руководимых солидарностью и влиянием инстинкта и притом *не без участия осмысленного представления и сознательной воли.*

Если преувеличено предположение, что пчелам присущ некоторого рода мимический язык, то все же верно будет заключение о том, что они умеют комбинировать полученные путем впечатления свои умозаключения с удивительным инстинктом, врожденным самой их организацией».

Говоря об отношениях царицы к ее соперникам — будущим царицам, Клаус пишет:

«Напрасно старается самка приблизиться к ненавистным ей ячейкам, чтобы прекратить существование жительницы этой ячейки, — рабочие пчелы, как бы понимая намерение царицы, усердно удерживают ее вдали от угрожаемой ячейки, которая окружается густой их толпой, инстинктивно заботящейся о *сохранении царского дома.*

Старая царица в конце концов еще до выхода на свет молодой очищает для нее поле деятельности и удаляется из улья, сопровождаемая оставшимся *верным ей народом и известным числом трутней.*

Если оставшиеся в улье пчелы не пожелают после этого первого роя выпустить новые рои, они немедленно уничтожают все ячейки цариц, за исключением старшей, которая по праву первородства считается законной наследницей оставшегося вакантным престола».

Тридцать лет спустя после Клауса другой зоолог, не менее известный, писал следующее:

«В пчелином рое мы видим соединение двух начал: семейного и государственного; и нигде не выступает с такою поражающей яркостью воз-

¹ «Государство — это я».

возможность образования государства и семьи, как у пчел. Царица, так сказать, сущность всего населения; она — общая мать всех живущих в улье пчел, и не в переносном, а в буквальном смысле этого слова, и, по справедливому замечанию Клауса, никто не имеет более права сказать: “L’etat c’est moi”, как глава пчелиного государства.

Но как из семейных начал выводится монархическая форма правления, так из тех же самых начал выводится и республиканская форма правления. В первом случае глава семьи путем расширения власти становится главой государства, во втором нет такого первенствующего значения одной семьи перед другой. Все семьи вступают в союз с одинаковыми правами. С республиканской формой правления мы встречаемся у муравьев.

Низшие ступени государственной жизни, несомненно, представляют собой те муравьи, которые, как *Formica fusca*, живут преимущественно охотой. Это — своего рода охотничьи племена. Они постоянно пробегают леса и пустыни, собираются только небольшими кучами и вступают в единоборство с врагами. Другие, например *Lasius flavus*, стоят уже несколько выше. Муравьи эти строят лучшие жилища, содержат у себя в качестве домашних животных некоторых тлей и живут преимущественно на их счет, совершенно уподобляясь пастушеским народам, живущим своими стадами. У этих муравьев является уже гораздо более стремление к общежитию, чем у охотничьих. Их сражения — уже не единоборство героев, а столкновение армий, они имеют понятие о стратегических движениях и т.д. Наконец, последнюю категорию составляют муравьи оседлые, которых можно приравнять к земледельческим народам. Некоторые из последних являются чуть-чуть что не возделывателями нив; в Техасе есть муравьи, которые занимаются посевом так называемого муравьиного риса.

Эти муравьи расчищают перед входом в муравейник крупные пространства земли, от 10 до 12 футов в диаметре, оставляя там расти один вид растения, и с величайшим старанием собирают жатву, когда на то наступает время.

Последнее, что может интересовать, чем поучительно муравьиное общество, — это так называемый рабовладельческий инстинкт у некоторых из них. И как ни странно на первый взгляд найти между муравьями рабовладельцев, тем не менее это — факт, и, в общем, муравьи-рабовладельцы с их республиканским строем весьма сильно напоминают собой Соединенные Штаты Северной Америки до уничтожения в них невольничества».

Прошли еще десятки лет — истории о пчелах и муравьях пишутся уже иным языком и по другому методу. Но во времена Клаусов и Геккелей дело обстояло иначе...

За первыми попытками использовать биологию для обоснования соображений по вопросам

социологии, попытками робкими, как бы мимоходом сделанными, попутно с описанием пчел и муравьев последовал другой шаг, более решительный и уверенный, а затем уже диктаторский.

Какой бы ни подымался вопрос о сложных явлениях общественной жизни, каким бы трудным ни казался он социологам, биологи покойно отправляются к муравейнику или смотрят в стеклышко наблюдательного улья и выносят твердое и окончательное решение задачи.

Поднимается ли вопрос о разделении труда, пчелы с царицей, рабочими, няньками и проч. дают, по мнению биологов, прекрасное его решение.

Дебатировался ли женский вопрос, биологи знакомят публику с жизнью гальской осы и ставят свое ничем не сокрушимое решение.

Идет ли речь об институте рабства, его возникновении, развитии и последствиях, биологи решают вопрос на основании института рабства у муравьев.

Заходит ли речь о монархии или республике, биологи решают вопрос на основании монархии пчелиного улья, сопоставляя его с республиканской формой правления в муравьиных кучах. И дело считается бесповоротно решенным.

Так же просто и так же убедительно решаются биологами вопросы об индивидуальности и ее отношении к обществу, о семье в прошлом, настоящем и будущем, о значении этики в истории культуры и т.д.

Целый арсенал фактов из жизни насекомых и диких зверей является к услугам биологов, и они решают вопросы образно, убедительно и ясно, а главное просто, удивительно просто. Все сводится к тому, что так совершается в царствах пчел и муравьев, стало быть... и т.д.

Вот, например, как решается вопрос о том, нужна ли, справедлива ли борьба людей между собой за право жить.

«Благополучие существующего человечества», — пишет Спенсер, — и достижение им этой крайней степени совершенства обеспечено благодетельным, хотя и строгим отбором, которому подчинен весь органический мир, отбором, который безжалостно стремится к достижению блага, отбором, который, поставив своей целью благополучие, не заботится об устранении случайных и мимолетных страданий.

Бедность неспособного, притеснения, достигающиеся на долю глупого, голодание ленивого и то оттирание слабых сильными, благодаря которому так много людей живет в нужде и нищете, все это веление дальновидного и благожелательного закона.

Чтобы быть годным для общественного состояния, человек должен не только расстаться со своей дикостью, но и приобрести способности, необходимые для цивилизованной жизни. Должно развиваться упорное прилежание, интеллект должен из-

мениться так, чтобы уметь жертвовать маленькие настоящие выгоды для большей будущей.

Переходное состояние естественно сопряжено со страданием. Все эти действия, которые смущают нас и кажутся несведущему очевидными последствиями тех или иных отдаленных причин, — неизбежные спутники прогрессирующего приспособления.

Человечество вынуждено мириться с неизбежной необходимостью своего положения, достигать гармонии и терпеть бедствие, как умеет.

Этот процесс должен совершиться, и страдания должны быть перенесены. Никакая земная сила, никакие хитроумные законы государственных людей, никакие утопические мечты друзей человечества, никакая коммунистическая всеобщая панацея, никакие реформы, когда-либо предпринимавшиеся и имеющие быть предпринятыми, не могут ни на йоту уменьшить страданий».

«Само собою разумеется, что поскольку суровость этого процесса может быть смягчена сочувствием людей друг к другу, она и должна быть смягчена, хотя сочувствие, не принимающее в расчет конечную цель, — бесспорно приносит вред.

Безусловный вред приносит симпатия лишь в том случае, когда идет в разрез со справедливостью, приводит к вмешательству, возбраняемому законом одинаковой свободы, нарушает в какой-либо сфере жизни соотношение между организацией и жизненными условиями. Этим она уничтожает ту самую цель, к которой стремится, умножает страдания вместо того, чтобы их уменьшить. Она содействует размножению тех, которые наименее приспособлены к условиям, и этим самым препятствует размножению лучше приспособленных, суживая поле их действия.

Она стремится наполнить мир людьми, для которых жизнь готовит наибольшую сумму страданий, и устранить тех, которым она приносит максимум счастья. Она приводит к фактическому злополучию и тормозит благополучие».

То же много лет спустя писал и Геккель¹.

«Жестокая и беспощадная борьба за существование, — говорит он, — которая свирепствует всюду в природе и должна свирепствовать в силу естественных законов, это непрерывное и неумолимое соперничество всего живого, — неоспоримый факт. Только избранное меньшинство способнейших в состоянии успешно выдержать эту конкуренцию. Тогда как огромное большинство конкурентов неизбежно осуждено на гибель. Можно глубоко сожалеть об этом трагическом факте, но нельзя ни отрицать, ни помочь ему. Все званые, но лишь немногие избранные.

Отбор этих избранников необходимо связан с ущербом и гибелью остального большинства».

И далее в другом месте.

«Таким образом, борьба за существование в человеческом обществе и естественный подбор суть факторы, которых нельзя ни отрицать, ни изменять».

Геккель идет дальше этого. Он утверждает, что и желать такого изменения нелепо, ибо естественный отбор ведет к победе лучших. В нем, в этом отборе, как в горниле, очищающего и совершенствующего процесса, получают начало высшие принципы жизни, до идеи о любви к ближнему как к самому себе и т.д., и т.д., и т.д.

Чем настойчивее, однако, были решения социальных вопросов биологами, чем обстоятельнее они иллюстрировались фактами, тем яснее становилось, что в практическом отношении не все обстоит благополучно, а заключения, из них делаемые, и вовсе сомнительны.

Это было доказано биосоциологам очень обстоятельно и биологами, и социологами. Последние доказывали, что если бы жизнь муравьев и пчел была действительно тем, чем ее, со слов любителей природы, представляют биосоциологи, то из этого материала все же выкроить решение вопросов человеческой жизни было бы невозможно.

Надо еще определить, говорит Лафарг², всегда ли борьба за существование, результатом которой является переживание наиболее приспособленных к окружающей среде, бывает причиной органического прогресса.

На поле битвы остаются наиболее приспособленные животные — это несомненно. Но всегда ли наиболее приспособленные животные суть и наиболее одаренные и развитые? Разве не случается весьма нередко, что животные с наиболее тонкой организацией оказываются неспособными примениться к грубым условиям жизни и, побежденные в борьбе, уступают поле соперникам. Сверх того, даже в мире животных и растений, говорит автор, естественный отбор далеко не единственный и потому отнюдь не универсальный фактор эволюции, ибо кроме борьбы за существование среди нормальных индивидов существуют и другие факторы.

Естественный подбор, говорит Гижицкий, есть агент, который в качестве общего регулятора жизни действовал на фактическое состояние всего существующего ныне в органической жизни. Это всеобщая естественная сила, которая правит человеческой жизнью.

«А что мы видим в этой последней? Страшную массу физического и морального зла, которым вышеупомянутый закон вовсе не препятствует, а отчасти, наоборот, содействует. Устранить страдание мира нашей целесообразной деятельностью — вот задача, которую мы ставим себе, когда считаем

¹ Эрнст Геккель (1834—1919), немецкий биолог.

² Поль Лафарг (1842—1911), философ и политэконом, один из основателей французской Рабочей партии.

мир, каков он есть без нашего содействия, не наилучшим из миров, а таким, над улучшением которого нам следует поработать».

«Все, что является результатом деятельности общих сил природы, не может служить для нас нормой морали, потому что они же производят все зло».

Под напором двусторонней критики биосоциологи должны были начать отступление, а новая отрасль науки — вступить в третий период своего существования, который пришлось начинать с пересмотра и переработки самого фактического материала.

Государства муравьев с добродетельными и свободными гражданами, их республика, трудолюбивые пчелы с их придворным штатом цариц и проч. и проч. отошло в область предания. Уверение Геккеля в том, что у муравьев имеется чувство долга в христианском смысле этого слова, вызывает уже не улыбку, а сожаление о том, что такие глупости вообще когда-либо могли высказываться, да еще натуралистом, претендующим на имя ученого. Красивые картинки из жизни птиц с их удивительной семейной жизнью, которые, по уверению Летурно¹, нравственнее, чище и глубже, чем у людей, превратились в мираж. Трогательные сцены материнской любви и самопожертвование отцов в жизни животных читаются теперь только в назидание детей...

Старая анекдотическая зоология сдается в архив. В Германии пересматривается Брем, из которого удаляются охотничьи рассказы и оставляются только научные описания. В ближайшем будущем и этот материал подвергнется пересмотру и переоценке на основании данных объективного метода исследования явлений сравнительной психологии.

Исправив указанные ошибки, биосоциологи во всем его объеме удержали до наших дней следующее положение: в силу естественных условий прироста населения бесчисленные зародыши человеческой жизни должны быть раздавлены, чтобы дать место другим. Незначительная часть возможной жизни атрофируется под гнетом жизни, достигающей полного развития.

Наши нравственные убеждения восстают против того, чтобы этот закон, в начале существования общества могущественный, как закон неразумного мира, продолжал существовать с той же беспощадной силой.

Но разум и научные данные говорят, что до тех пор пока остается в силе (а он еще долго останется в силе) тот факт, что естественные порывы к жизни и ее воспроизведение являются более сильными стимулами и больше влияют на поведение, чем какой бы то ни было масштаб качества жизни, до тех пор самое высокое развитие одной части общества не в состоянии устранить несоот-

ветствие между культурой и природой. Мало того, оно будет только ярче освещать разделяющую их пропасть.

Другими словами: хотя высшие идеалы как критерии поведения бесспорно — лучшие и справедливейшие идеалы, но людей, ими руководящихся, так безмерно мало, что развитие человеческого общества продолжает еще жить под гнетом борьбы за существование и естественного отбора, к стыду человечества, узаконивающих несправедливость и страдание.

Правда, что влияние биологического процесса на эволюцию общества тем слабее, чем выше, чем совершеннее формы цивилизации. Социальный прогресс является средством, ограничивающим на каждом шагу могущество биологического, и выдвигает на смену ему другой процесс, который мы можем назвать этическим.

Результатом этого процесса может оказаться переживание не тех, кто наиболее приспособлен к общим условиям существования, а тех, кто приспособлен к условиям существования наилучшим в смысле этическом.

Но для того, чтобы результат этот был достигнут, чтобы значение биологического процесса было ослаблено, необходимо помнить, что этический процесс — не подражание, а враг процесса биологического, что последний в жизни человеческих существ существует, вследствие чего должно не прятаться от него, не скрывать его под тогой негодования, а указывать на него и бороться с ним. *А если нужна борьба, говорят биосоциологи по адресу социологов, то прежде всего надо хорошо и возможно полно знать свойства врага, его силы и размеры.*

Если человеческий суд, произнося свой приговор над поведением гражданина, не может и не должен оставлять без правильного и внимательного учета влияние «товарищей бурной молодости» подсудимого, то тем менее допустим, тем менее возможен научный суд, научное суждение о правилах поведения и стоящих в связи с ним факторов эволюции без точного учета как современной жизни культурного человечества, так и его духовного наследия от времен той эпохи, в которую он почти исключительно жил унаследованными им от предков инстинктами.

Пытаться решать задачи общественных наук без научно обоснованных данных биологии, пытаться выяснить факторы современной эволюции, оставляя без учета роль и значение унаследованных нами психических свойств, представляется задачей в такой же степени неблагоприятной и безнадёжной, как и попытка тех крайних сторонников прямолинейного дарвинизма, которые ставят себе задачей решать вопросы социологии, устранив из числа факторов эволюции благоприобретенное человечеством, т.е. то, что в нем составляет человеческое.

¹ Шарль Летурно (1831—1902).

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2009 ГОДА

По физике — Ч.Као, У.Бойл, Дж.Смит

Оглядываясь на историю Нобелевских премий, можно заметить, что большинство лауреатов были отмечены за достижения в области фундаментальных знаний, кардинально повлиявших на наши представления о процессах в Природе. Но есть среди них и первооткрыватели вещей практических — технологий, которые изменили нашу повседневную жизнь. Так, в 1909 г. Нобелевскую премию по физике получили Г.Маркони и К.Браун «за развитие беспроволочной телеграфии». Маркони, напомним, впервые осуществил радиотрансляцию через Атлантический океан (1901) и добился широкого применения нового способа связи на практике. А ровно 100 лет спустя премия присуждена физикам-инженерам, чьи работы заложили базу для развития, наоборот, «проводного» вида связи — оптического.

Первая половина Нобелевской премии по физике присуждена Чарльзу Као «за выдающийся вклад в исследование волоконных световодов для оптической связи».

Чарльз Као (Charles Kuen Kao), в настоящее время подданный Великобритании и гражданин США, родился в 1933 г. в Шанхае (Китай). Учился сначала в Гонконге, затем в Великобритании, где в 1957 г. окончил Лондонский университет. Там же в 1965 г. получил докторскую степень в области электротехники. Работал в Лаборатории стандартных телекоммуникаций (Standart Telecommunication Laboratories) в Харлоу (Великобритания), дослужившись до по-

ста директора по разработкам; в 1996 г. ушел на пенсию.

Необходимость в резком улучшении средств связи и передачи информации была осознана в 50-х годах прошлого века. Происходила эволюция радиосвязи в сторону укорочения длины волны несущего излучения — стояла задача повысить скорость передачи информации по одному каналу. Эта постепенная эволюция продолжалась до тех пор, пока длина волны не уменьшилась до 1 см. Поскольку было ясно, что скорость передачи информации растет с увеличением частоты (уменьшением длины волны) несущего излучения, переход в оптический диапазон длин волн сулил многократный выигрыш (на несколько порядков).

Поэтому, когда в 1960 г. появились первые лазеры (Нобелевская премия 1964 г.), одними из первых экспериментов, в которых они были задействованы, стали опыты по передаче информации с помощью лазерного излучения через свободную атмосферу. Однако уже первые попытки осуществить такую передачу показали, что свободная атмосфера не может служить подходящей средой для этой цели. Погодные условия оказывали сильное влияние на распространение света. Туман и снег вызывали сильное изменение его интенсивности, и даже в ясную погоду флуктуации атмосферы приводили к отклонению луча на несколько метров после 1 км пути.

Казалось, что блестящая идея оптической связи зашла в тупик. Правда, в то время уже были из-

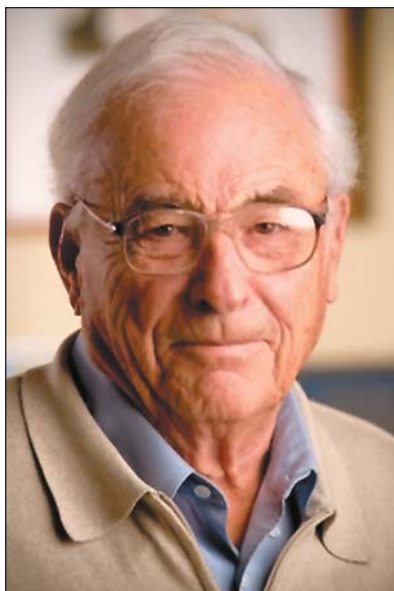
вестны стеклянные волоконные световоды*, которые могли бы использоваться в качестве передающей среды. Однако тогда их никто не рассматривал как кандидатов для систем оптической связи из-за высоких потерь излучения (~1000 дБ/км). Такие потери означали, что свет в световодах ослаблялся вдвое на длине в 1 м и оптический сигнал мог передаваться лишь на расстояние порядка 10 м. Практически же целесообразной считалась длина линии связи в несколько километров, что ограничивало допустимые оптические потери величиной ~20 дБ/км.

Величайшей заслугой Као стало проведение всесторонних теоретических и экспериментальных исследований стекол и стеклянных волоконных световодов с точки зрения возможности их использования в качестве передающей среды в системах оптической связи. Распространение излучения в световодах изучалось на опыте и рассчитывалось, причем при расчете учитывались не только параметры волноводов, но и характеристики материала, из которого они были сделаны (чем пренебрегали другие ученые). Прежде всего были подробно проанализированы источники оптических потерь в стеклах. Удалось показать, что высокое поглощение в стеклах в ближней инфракрас-

* Лучи, вошедшие в волоконный световод под небольшими углами к оси, не покидают его из-за эффекта полного внутреннего отражения. Простейший подобный световод — тонкая нить из оптически прозрачного диэлектрика, заключенного в оболочку с меньшим показателем преломления.



Чарльз Као



Уиллард Бойл



Джордж Смит

ной области спектра обусловлено примесными ионами, в первую очередь ионами железа. При этом оптические потери, вызванные фундаментальными механизмами (за счет собственных электронных переходов, возбуждения фононов, рассеяния на неоднородностях, порожденных неупорядоченностью стекла), оказались много меньше 20 дБ/км. Као исследовал возможность создания стеклянных волоконных световодов с высокой информационной емкостью, учитывая дисперсию (зависимость скорости от длины волны) и модовую стабильность (сохранение типа распространяющихся колебаний) световода, а также допустимый уровень интенсивности несущего излучения. Не остались без внимания такие важные для практического применения вопросы, как механическая прочность волоконных световодов и стабильность параметров по всей их длине. В результате Као сделал вывод: изготовление одномодовых стеклянных волоконных световодов с оптическими потерями ниже 20 дБ/км в ближней ИК-области спектра, пригодных для практического использования в качестве передающей среды оптичес-

ких систем связи со скоростью передачи информации более 1 Гбит/с, — реальная, хотя и исключительно трудная задача (Као К.С., Hockham G.A. Dielectric-Fiber Surface Waveguides for Optical Frequencies // Proc. IEE. 1966. V.113. №7. P.1151—1158). Као указал и подходящий для этого материал — кварцевое стекло.

Результаты исследований Као инициировали работы широким фронтом по созданию технологии стеклянных волоконных световодов, имеющих низкие оптические потери, во многих странах. И в 1970 г. фирмой Corning Glass (США) методом осаждения из газовой фазы были впервые изготовлены волоконные световоды на основе кварцевого стекла с оптическими потерями ~20 дБ/км. После этого началось бурное развитие волоконной оптики и волоконно-оптической связи. В 1976 г. получили волоконные световоды с потерями менее 1 дБ/км, а в 1980 г. проложили первые коммерческие волоконно-оптические системы связи, для которых предсказания Као подтвердились.

Чтобы в полной мере оценить роль и значение исследо-

ваний лауреата, кратко опишем современное состояние дел в области волоконно-оптических технологий.

Все континенты Земли связаны подводными волоконно-оптическими кабелями связи общей длиной 600 тыс. км, достаточной, чтобы обмотать земной шар 15 раз (рис.1). Максимальная скорость передачи информации по одному волоконному световоду составляет в коммерческих системах величину ~1 Терабит/с, что позволяет, например, одновременную передачу с самым высоким качеством тысяч фильмов.

В наземных сетях волоконно-оптической связи в развитых странах уже проложен 1 млрд км волоконных световодов, и ожидается, что к 2015 г. эта цифра удвоится. Во многих развитых странах волоконный световод приходит в каждый дом (квартиру), обеспечивая населению высокоскоростной доступ (1—10 Гбит/с) к Интернету, который стал возможен благодаря волоконной оптике. Число пользователей Интернета превысило в настоящее время 1 млрд. В мире производится свыше 100 млн км волоконных световодов в год.

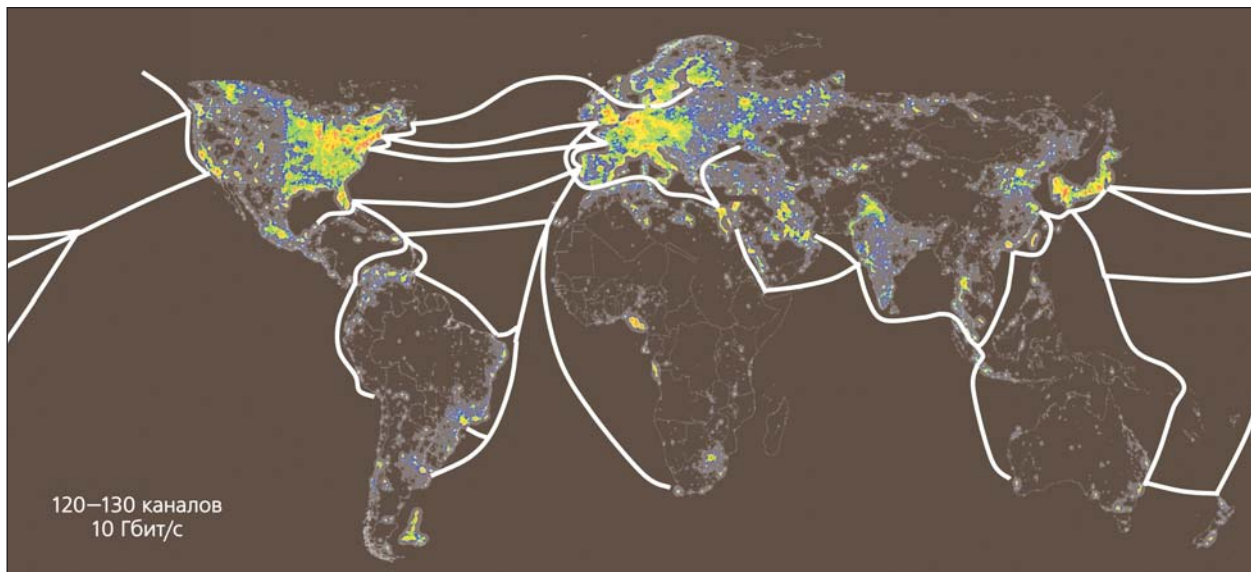


Рис.1. Трансокеанские линии волоконно-оптической связи (R.C.Alfemess / European Conf. on Optical Commun. Brussels, 21—25 Sept. 2008).

Следует сказать, что волоконно-оптическая связь — не единственное применение волоконной оптики. В последние годы на основе элементной базы, созданной для волоконно-оптических систем связи, интенсивно развиваются два очень важных направления — волоконные лазеры и различные волоконные датчики.

Волоконные лазеры, особенно мощные, обладают рядом преимуществ перед традиционными, активные среды в которых представляют собой объемные элементы. Они более эффективны, компактны и надежны в эксплуатации. В настоящее время в мире разработаны волоконные лазеры, работающие в непрерывном режиме с выходной

мощностью вплоть до нескольких десятков киловатт, которые широко используются для обработки материалов (резка, сварка, сверление) в автомобильной, аэрокосмической и других отраслях промышленности (рис.2).

На сегодняшний день разработаны и широко используются различные волоконные датчики: температуры, давления, деформаций, ионизирующего излучения; сенсоры, распознающие различные химические соединения; гироскопы и другие устройства. Основные достоинства волоконных датчиков — отсутствие электромагнитных помех, сочетаемость с волоконно-оптическими системами передачи и обработки информации, компактность и хорошо разработанная элементная база. В последние годы большое внимание уделяется созданию распределенных протяженных волоконных датчиков, которые позволяют непрерывно контролировать состояние (деформацию, температуру, давление и др.) таких объектов, как здания, мосты, плотины, корпуса кораблей, самолетов, газовые и нефтяные трубопроводы и др. (рис.3). Широкое применение подобных волоконных сенсорных систем

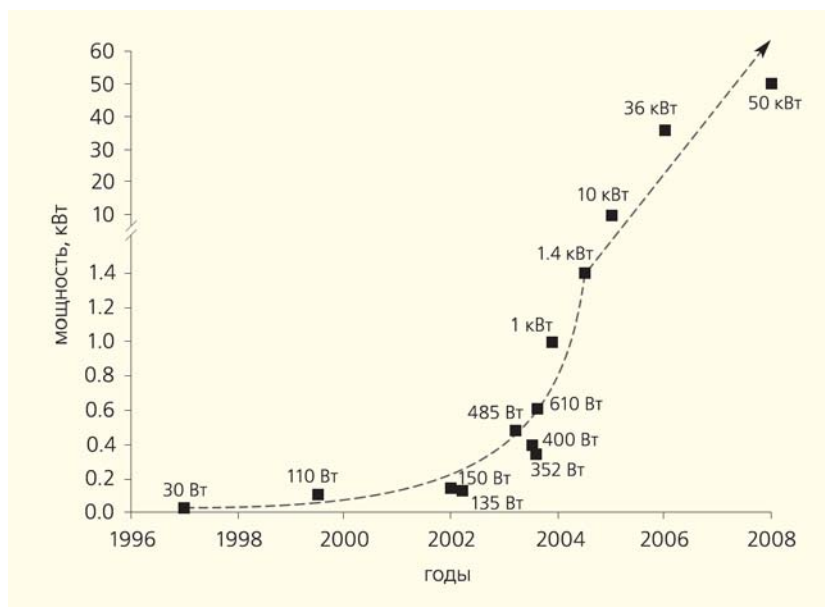


Рис.2. Рост максимальной выходной мощности непрерывных волоконных лазеров в последнее десятилетие.

позволит резко сократить число аварий на важных объектах.

Вторая половина Нобелевской премии была поделена между двумя американскими учеными: Джорджем Смитом и Уиллардом Бойлом — «за изобретение полупроводникового устройства для записи изображения — прибора с зарядовой связью (ПЗС)».

Уиллард Бойл (Willard Sterling Boyle), гражданин Канады и США, уроженец канадской провинции Новая Шотландия (1924). Во время Второй мировой войны выучился на пилота, но в боевых действиях принять участие не успел. После войны получил высшее образование в Университете Мак-Гилла (провинция Квебек, Канада), там же в 1950 г. защитил диссертацию по физике. С 1953 г. работал в Bell Labs, Мюррей Хилл (штат Нью-Джерси, США), стал со временем исполнительным директором отделения наук о связи. Выйдя на пенсию в 1979 г., остается научным консультантом Канадского института исследований и научного совета своей родной провинции.

Джордж Смит (George Elwood Smith), гражданин США, родился в штате Нью-Йорк в 1930 г., докторскую степень по физике получил в Чикагском университете (Иллинойс, США) в 1959 г. В том же году пришел в Bell Labs; впоследствии работал руководителем отдела сверхбольших интегральных схем. На момент изобретения ПЗС был по служебной иерархии подчиненным Бойла. На пенсии с 1986 г.

Фактически эти два человека произвели революцию в области записи изображений. Напомним кратко историю вопроса. Развитие фотографии и аппаратуры для фиксации изображений насыщено открытиями. Древние цивилизации Китая, Египта, Греции знали, что такое камера обскура, позволяющая с использованием примитивной оптики проецировать изображение на экран, но носителя, на котором можно было бы зафиксировать



Рис.3. Волоконно-оптические «нервные» системы различных конструкций.

изображение, тогда не существовало. Первая запись изображения была сделана Ж.Ньепсом в 1826 г. Он использовал камеру обскура, в которой изображение экспонировалось на слой битума, затвердевавшего в местах облучения светом. Далее Л.Дагер (1839), У.Толбот (1841), Г.Гудвин и Г.Истман (1887) развили фотографию на основе галогенидов серебра, которая в практически первозданном виде сохранилась до конца XX в. Первая пленочная фотокамера была выведена на рынок в 1888 г. компанией Eastman Kodak. В 1908 г. французскому ученому Г.Липпману была присуждена Нобелевская премия по физике за разработку цветной фотографии, основы которой были заложены Л.Дюкоде Ороном еще в 1869 г. Но наступил XXI в., и все изменилось. Производство пленок для фотографии сейчас практически прекращено, потому что появилась новая среда для записи видео- и фотоинформации — ПЗС-матрицы, позволяющие регистрировать изображения в цифровом формате. Фирма Kodak и здесь была первой, выпустив фотока-

меры с сенсором на основе ПЗС в 1975 г., всего через несколько лет после демонстрации компанией Fairchild Semiconductors первого изображения, сформированного на ПЗС-матрице 100×100, и всего через пять лет после выхода статьи Бойла и Смита (Boyle W.S., Smith G.E. Charge-Coupled Semiconductor Devices // Bell Systems Technical Journal. 1970. V.49. P.587). В Bell Labs, где работали Бойл и Смит, тогда интенсивно развивались работы по видеотелефонии и «полупроводниковой пузырьковой памяти». Объединив эти два направления, Бойл и Смит занялись тем, что они назвали «устройства с зарядовыми пузырьками».

Приборы с зарядовой связью начали свою жизнь как устройства памяти, но вскоре стало понятно, что такой прибор способен получить заряд при облучении светом благодаря фотоэффекту. Объединив фотоприемник с системой формирования и передачи заряда, можно было записывать изображение. В 1970 г. в Bell Labs научились фиксировать изображения с по-

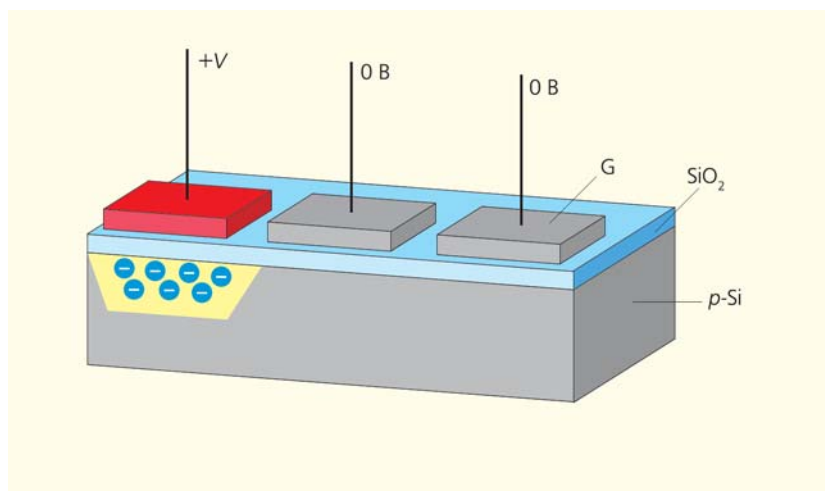


Рис.4. Принцип работы зарядовой связи в ПЗС-матрице.

мощью ПЗС-линеек (в них воспринимающие свет элементы расположены в одну или несколько линий); тем самым был создан первый фотоэлектрический прибор с зарядовой связью. Впоследствии компания Sony, руководимая К.Ивама (K.Iwama), стала активно заниматься ПЗС, вложив в это крупные средства, и сумела наладить массовое производство ПЗС для своих видеокамер. В январе 2006 г. за работы над ПЗС Бойл и Смит были удостоены награды Национальной инженерной академии США.

Что же такое прибор с зарядовой связью? Упрощенно прибор с зарядовой связью можно рассматривать как матрицу близко расположенных МДП-структур, каждая из которых представляет своего рода конденсатор, способный накапливать заряд. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры) научились получать в конце 50-х годов. Были найдены и развиты технологии, которые обеспечили низкую плотность дефектов и примесей в поверхностном слое полупроводника. Тем самым уже через 10 лет были заложены предпосылки для изобретения приборов с зарядовой связью.

Название ПЗС отражает способ считывания электрического

потенциала методом сдвига заряда от элемента к элементу. ПЗС-устройство обычно делается из кремниевой подложки, отделенной от электродов слоем диоксида кремния, у которой при подаче напряжения через затворы (G) изменяются электрические потенциалы вблизи электродов (рис.4). Один элемент (пиксель) ПЗС-матрицы формируется тремя или четырьмя электродами. Расстояния между соседними электродами столь малы, что области пространственного заряда, возникающие при подаче напряжения на электроды, перекрываются и становятся «связанными» друг с другом. Манипулируя потенциалами электродов, удается направленно переносить заряд от одного электрода к другому. Так, положительное напряжение на одном из электродов создает потенциальную яму, куда устремляются электроны из соседней области. Последовательное переключение напряжения на электродах перемещает потенциальную яму, а следовательно, и находящиеся в ней электроны в определенном направлении. (Собственно, для создания потенциальной ямы достаточно одного электрода. Остальные нужны именно для передачи заряда.) Таким образом происходит перемещение по одной

строке матрицы. Если речь идет о ПЗС-линейке, то заряд в ее единственной строке «перетекает» к выходным каскадам усиления и там с помощью *p-n*-перехода преобразуется в уровень напряжения на выходе микросхемы. У матрицы же, состоящей из многих строк, заряд из выходных элементов каждой строки оказывается в ячейке еще одного сдвигового устройства, устроенного обычно точно таким же образом, но работающего на более высокой частоте сдвига.

При записи изображений производится сброс всех ранее образовавшихся зарядов и приведение всех элементов в идентичное состояние (обычно с помощью подачи до экспонирования определенной комбинации напряжений на электроды). Далее комбинация напряжений на электродах создает потенциальную яму, в которой могут накапливаться электроны, образовавшиеся в данном пикселе матрицы в результате воздействия света. Чем интенсивнее световой поток во время экспозиции, тем больше накапливается электронов в потенциальной яме, соответственно, тем выше итоговый заряд данного пикселя. После экспонирования последовательные изменения напряжения на электродах формируют в каждом пикселе и рядом с ним распределение потенциалов, которое приводит к перетеканию заряда в заданном направлении, к крайним элементам матрицы. В выходной цепи при этом возникает последовательность импульсов напряжения, пропорциональных заряду каждого из пикселей по очереди (т.е. световому сигналу, им полученному). В итоге картина освещенности, создавшая определенный пространственный зарядовый рельеф, превращается уже во временной электрический сигнал, который можно обрабатывать, хранить и передавать. Цветная информация, как обычно, кодируется разложением на три компонента с помощью светофильтров.

Сегодня фоточувствительные ПЗС-матрицы серийно производят несколько фирм: Texas Instruments, Thompson, Loral Fairchild, Ford Aerospace, Sony, Panasonic, Samsung, Philips, Hitachi Kodak.

Архитектура пикселей ПЗС-матрицы у разных производителей разная. В качестве характерного примера можно рассмотреть схему на рис.5.

По квантовой эффективности ПЗС не имеют себе равных. Для сравнения: из каждых 100 фотонов, попадающих в зрачок глаза, только один воспринимается сетчаткой (квантовый выход равен 1%), лучшие фотоэмульсии имеют квантовую эффективность 2–3%, электровакуумные приборы (например, фотоумножители) — до 40%, у ПЗС же этот параметр может достигать 95% (!). Характерные времена быстрого действия ПЗС составляют 1 мкс — 10 нс.

В настоящее время приборы с ПЗС-матрицами широко используются во многих областях бытового применения и в науке. Это видео- и фотокамеры, приборы для наблюдений в астрономии и астрофизике, спектральные приборы в научных исследованиях. Особо следует от-

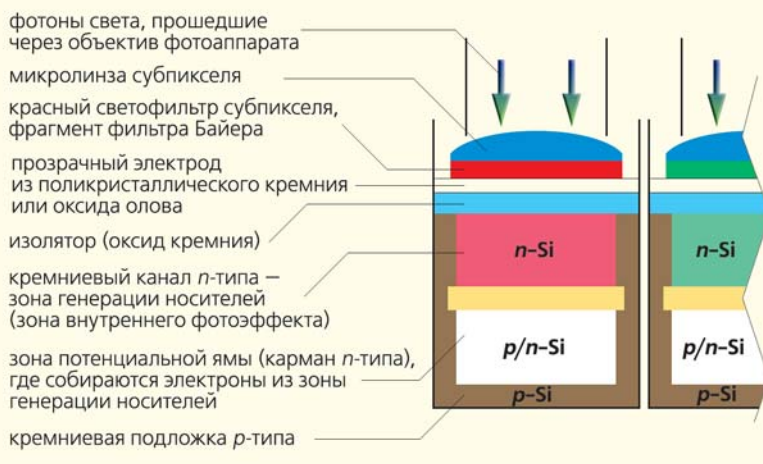


Рис.5. Схема субпикселей ПЗС-матрицы с карманом *n*-типа (на примере красного фотодетектора).

метить применение видеокамер с ПЗС-матрицами в медицине — при различных полостных операциях, в новых методиках диагностики (эндоскопия, биосенсорика и прочее, и прочее, и прочее).

Таким образом, твердотельные сенсоры и цифровые камеры полностью преобразили представление об изображении, так как дали возможность превратить потоки света в электронные сигналы и цифры, которые легко передать

и трансформировать. В науке возможность получать и обрабатывать цифровые изображения произвела настоящий переворот в получении новых знаний.

© Академик **Е.М.Дианов**,
Научный центр
волоконной оптики РАН
© **К.М.Ельцов**,
доктор физико-
математических наук
Институт общей физики РАН
Москва

По химии — А.Йонат, В.Рамакришнан, Т.Стайтц

Нобелевская премия по химии в 2009 г. присуждена А.Йонату, В.Рамакришнану и Т.Стайтцу «за исследования структуры и функции рибосом». Все трое лауреатов — биохимики.

Ада Йонат (Ada E. Yonath) родилась в 1939 г. в Иерусалиме. В 1962-м получила степень бакалавра по химии, а через два года — магистра по биохимии в Еврейском университете (Иерусалим). Значительная часть ее научной карьеры связана с Институтом Вейцмана в Реховоте, где

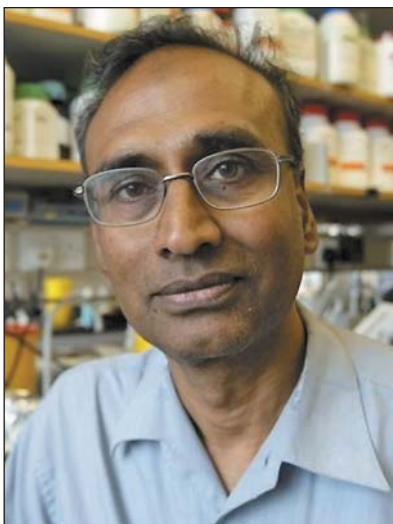
в 1968 г. Йонат получила докторскую степень за рентгеноструктурные исследования. В 1969—1970-х годах она работала в США, в том числе в Массачусетском технологическом институте. С 1988 г. Йонат — профессор на отделении структурной биологии Института Вейцмана, там она с 1989 г. возглавляет исследовательский центр по изучению комплексов биологических молекул.

Венкатраман Рамакришнан (Venkatraman Ramakrishnan), гражданин США, родился в го-

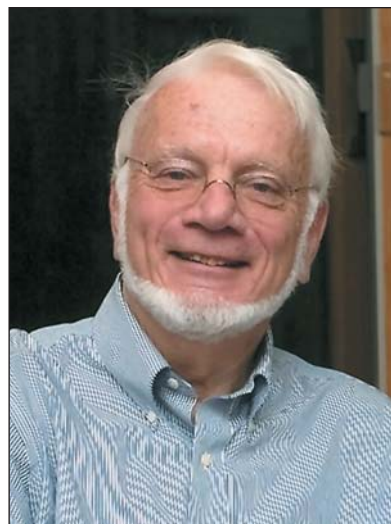
роде Чидамбарам в 1952 г. на юге Индии. Его детство прошло в Бароде (сейчас это Вадодара), там окончил университет и в 1971 г. стал бакалавром по физике. После этого уехал в США и в Университете Огайо в 1976 г. получил докторскую степень по физике. Затем оставил физику и два года изучал биологию в Калифорнийском университете (в Сан-Диего). Окончив его, работал в Йельском университете и в некоторых других научных учреждениях США. В 1999 г. переехал в Англию, где возгла-



Ада Йонат



Венкатраман Рамакришнан



Томас Стайтц

вил исследовательскую группу в Лаборатории молекулярной биологии в Кембриджском университете.

Томас Стайтц (Thomas A. Steitz) родился в 1940 г. в Милуоки (штат Висконсин). Получил степень бакалавра по химии в Университете Лоуренса в Висконсине, учился в Гарварде, где в 1966 г. получил докторскую степень по биохимии и молекулярной биологии. С 1967-го по 1970-й год работал в Кембридже, в Лаборатории молекулярной биологии Медицинского исследовательского совета, а затем — в Йельском университете (Нью-Хейвен). В настоящее время Стайтц — профессор молекулярной биофизики и биохимии этого же университета, а также сотрудник Медицинского института Говарда Хьюза.

Конец жаркого лета 2000-го года безусловно войдет и без того богатую событиями историю молекулярной биологии. Почти одновременно три группы исследователей опубликовали статьи, в которых пространственная структура важнейшего клеточного макромолекулярного комплекса — рибосомы — была представлена с атомарным разрешением. Одну группу возглавлял Стайтц, другую — Рамакришнан, третью — Йонат. Ис-

следовательскими группами были определены координаты в трехмерном пространстве сотен тысяч атомов, из которых построены огромные молекулы РНК и десятки белков, входящих в состав рибосомы. Трехмерная структура гигантской рибосомы, а точнее, двух субъединиц, из которых она состоит, была установлена при изучении их кристаллов методом рентгеноструктурного анализа (РСА). Ранее с таким разрешением удавалось решать структуру только сравнительно небольших РНК-белковых комплексов.

Этого события уже давно ждало сообщество ученых, изучающих рибосомы и механизм биосинтеза белка. Но оно стало неожиданностью для большинства исследователей, работающих в других областях молекулярной биологии. Действительно, специалисты по структурной биологии уже давно пришли к выводу, что рибосома — это самый сложный компонент живой клетки, который можно закристаллизовать и атомарная структура которого может быть установлена с помощью РСА (вирусы не в счет, так как в отличие от рибосомы структура многих из них высоко симметрична). Казалось, время, когда техника и математический ап-

парат РСА «дорастут до рибосомы», наступит еще не скоро. Но после 2000-го года уже все молекулярно-биологическое сообщество стало ждать «рибосомной» Нобелевской премии.

Мнения о том, кто получит эту премию, разделились. Как ни странно, за открытия в области рибосомологии столь престижной премии еще не давали, и перед Нобелевским комитетом стоял очень сложный выбор. Ведь до того, как пришло время рентгеноструктурного анализа рибосом, в 1960—1970-х годах А.С.Спириным, М.Номурой, Г.Г.Виттманом и их сотрудниками были выполнены классические работы. На них и сегодня основываются представления о том, как из РНК и белков собирается рибосома и как работает эта удивительная молекулярная машина, синтезирующая все клеточные белки. Более того, через полгода после публикации ключевых статей Стайтца, Рамакришнана и Йонат выдающийся американский ученый Х.Ноллер (в последние десятилетия он несомненный лидер в изучении механизма работы рибосомы) опубликовал атомарную структуру (пусть и с более низким разрешением) полной функционирующей рибосомы.

Поразмышляв девять лет, 7 октября прошлого года Шведская академия и Нобелевский комитет присудили Нобелевскую премию по химии все-таки Йонат, Стайтцу и Рамакришнану «за изучение структуры и функции рибосомы». Конечно, не пристало учить Нобелевский комитет, но правильнее была бы несколько более детальная формулировка: «за установление пространственного строения рибосомы и создание структурной базы для выяснения механизма функционирования белок-синтезирующего аппарата клетки и его ингибиторов».

Теперь каждый школьник знает (во всяком случае, должен знать), что рибосома построена из РНК (рРНК) и белков; что она состоит из двух неравных субъединиц; что при помощи транспортных РНК (тРНК), «заряженных» аминокислотами, она прочитывает (транслирует) информацию, записанную в полинуклеотидной цепи матричной (информационной) РНК (мРНК), руководствуясь аминокислотным генетическим кодом; и что, наконец, на рибосоме из этих аминокислот синтезируется полипептидная цепь белка, структура которого зашифрована в его гене. К этим общим сведениям можно добавить, что структура рибосомы консервативна и отражает универсальность механизма синтеза белка во всем живом мире. Рибосомы бактерий, растений и животных отличаются главным образом размерами рРНК, числом белков и, следовательно, размерами самих рибосом. В любом учебнике по молекулярной биологии или биохимии подробно описаны последовательные стадии синтеза белка на рибосоме: особый механизм запуска (инициации) образования полипептидной цепи, ее последовательное наращивание (элонгация) и также специальный механизм завершения (терминации) синтеза. Все это можно найти в руководствах, изданных десятки лет назад, например, в знаменитом

учебнике Дж. Уотсона «Молекулярная биология гена». Но именно Уотсону, расшифровавшему вместе с Ф. Криком структуру ДНК и положившему начало молекулярной биологии, принадлежит знаменитое утверждение: «Пока мы не узнаем истинную структуру рибосомы, мы не будем знать, как она на самом деле работает». И вот благодаря исследованиям, отмеченным Нобелевской премией, эта структура стала известной.

История началась в 1980 г., когда Йонат, работая в Берлине в лаборатории Г. Витмана, создателя знаменитой Далемской школы рибосомологов, закристаллизовала малую (30S) субъединицу бактериальной рибосомы. Важно подчеркнуть, что с самого начала все, кто занимались кристаллизацией рибосом, старались иметь дело с микроорганизмами, обитающими в экстремальных условиях — в термальных водах, соляных озерах или Мертвом море, при высоких уровнях радиации. Рибосомы из этих клеток более устойчивы, чем у классического объекта молекулярной биологии — кишечной палочки (хотя, еще раз подчеркну, принцип их устройства одинаков). Первые кристаллы рибосом вряд ли были пригодны для РСА. Но уже к середине 1980-х годов и А. Йонат, и М. Юсупов из лаборатории А. С. Спирина (создателя еще одной, не менее знаменитой школы рибосомологов) научились получать высокого качества кристаллы 30S-субъединицы рибосом. Через несколько лет сотрудники международного коллектива, возглавляемого Йонат, получили пригодные для РСА кристаллы большой (50S) субъединицы рибосомы. Качество кристаллов и их пригодность для РСА определялись возможностью давать диффракционную картину с разрешением не хуже 0.35 нм.

В начале 1990-х годов коллектив Йонат продолжал рентгеноструктурный анализ рибосом уже в одиночестве. По выражению Спирина, его лаборатория «сошла с дистанции». Всем,

кто старались в эти годы продолжать научные исследования в нашей стране, эта ситуация очень знакома и понятна: заниматься РСА сложнейшего биологического объекта без финансирования невозможно. Уехал сначала во Францию, а потом в США Юсупов (сейчас он снова во Франции, где возглавляет прекрасно работающую лабораторию в Страсбурге). В нашей прессе можно прочитать, что Марат чуть ли не в кармане увез с собой кристаллы рибосом. Это, конечно, нонсенс. Марат увез с собой нечто более важное — знание, как эти кристаллы получить. Да и методика, которую он разработал, была опубликована еще в 1985 г. Ее можно воспроизвести в любой другой лаборатории, что много лет спустя доказал Рамакришнан. Честно говоря, рибосомное сообщество относилось к попыткам Йонат успешно завершить работу по расшифровке структуры рибосомы скептически: в ее коллективе не было опытных и высококлассных специалистов по РСА, да и отсутствие конкуренции здесь плохой помощник.

Ситуация изменилась, когда в дело включились классик структурного анализа сложных биологических объектов Стайтц и автор прекрасных работ по РСА белков рибосомы Рамакришнан. Между собой эти исследователи не конкурировали: Стайтц взял себе большую субъединицу, Рамакришнан — малую. Ноллер вместе с М. и Г. Юсуповыми занялся анализом самой сложной системы — полной рибосомы, связанной с тРНК и мРНК. Когда летом 1999 г. в Дании рибосомологи собрались на свою традиционную конференцию, стало ясно, что до расшифровки атомарной структуры рибосомы остаются считанные месяцы. Создавалось впечатление, что команда Йонат безнадежно отстала. Но ее упорство в достижении цели достойно восхищения. Ее статья в журнале «Cell» (2000 г.) напоминает



Две проекции модели пространственной структуры малой (30S) субъединицы рибосомы. Рибосомные белки обозначены как S2, S3, и т.д., рРНК показана лентой серого цвета.

бросок спринтера в попытке догнать своих более резвых соперников.

Что же нового мы узнали о рибосоме и о механизме трансляции после публикации атомарной структуры этого сложного биологического объекта?

Во-первых, теперь не осталось сомнений в том, что рибосома — это рибозим (так называют РНК, обладающие ферментативной активностью). То, что рРНК — главный компонент рибосомы, уже давно стало аксиомой молекулярной биологии. С рРНК связывали все основные функции рибосомы. И вот теперь Стайтц и его группа показали, что расположенный в 50S-субъединице рибосомы активный центр, где катализируется образование пептидных связей при синтезе белковой молекулы, построен только из нуклеотидных остатков — мономерных звеньев рРНК. Несколько десятков рибосомных белков в каждой рибосоме, конечно, важны, но они нужны ей, чтобы помочь рРНК сложиться в единственно правильную трехмерную структуру и удерживать ее. Открытие Стайтца с особым энтузиазмом было встречено сторонниками гипотезы РНК-мира,

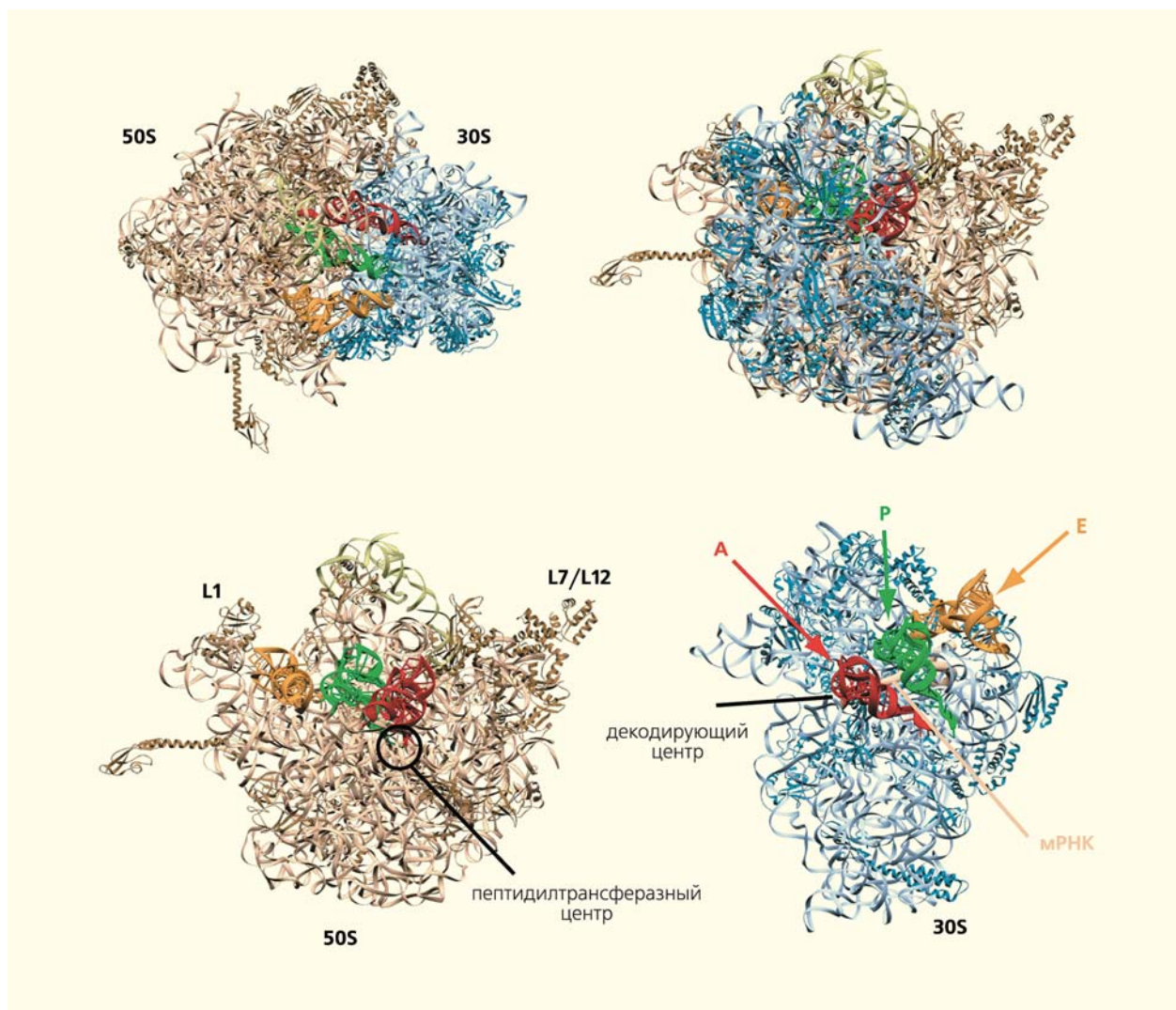
согласно которой молекулы РНК предшествовали, а потом и создавали мир ДНК и белков.

Справедливости ради, следует сказать, что надежды понять механизм, благодаря которому рРНК осуществляет катализ синтеза пептидных связей, основываясь только на статичной пространственной структуре рибосомы, не оправдались. Стало ясно, что нужны новые подходы и новые идеи, позволяющие изучать рибосому как динамическую молекулярную машину. Такие исследования уже ведутся во многих лабораториях, и они начались несомненно под влиянием работ нобелевских лауреатов 2009 г.

Другому фундаментальному процессу, лежащему в основе синтеза белка на рибосоме, — декодированию (считыванию) генетической информации — повезло гораздо больше. Как известно, в ходе декодирования на рибосоме образуются комплексы между кодоном в мРНК и антикодоном тРНК, которая несет на себе аминокислоту, соответствующую данному кодону. Благодаря такому соответствию, именно эта аминокислота окажется в нужном положении полипептидной цепи белка.

Если соответствие кодона антикодону нарушено, в цепи появится неправильная аминокислота и будет синтезирован неправильный (неактивный или даже вредный для клетки) белок. Кодон и антикодон состоят всего из трех нуклеотидных остатков и образуют короткий двуспиральный комплекс. Если кодон узнает правильный антикодон, комплекс имеет совершенную структуру, если неправильный — структура комплекса отклоняется от совершенной. Рамакришнан и его сотрудники, анализируя полученную ими структуру, сумели объяснить, как рибосома отличает совершенный по структуре кодон-антикодовый комплекс от несовершенного и как ей удастся зафиксировать его. После такой фиксации «выживает» только правильный комплекс, и генетическая информация считывается практически безошибочно.

Третьим крупным достижением авторов модели пространственной структуры рибосомы следует назвать доказательство существования туннеля в большой субъединице, по которому синтезирующаяся цепь белка выходит из рибосомы. О том,



Модели пространственной структуры полной функционирующей рибосомы (вверху, в двух проекциях) и ее субъединиц. Показаны три молекулы тРНК: красная (А) и зеленая (Р) участвуют в образовании очередной пептидной связи в пептидилтрансферазном центре, желтая (Е) — выходит из рибосомы. На модели малой субъединицы в декодирующем центре виден участок мРНК (светложелтый). L1, L7/12 — белки большой субъединицы.

что такой туннель есть, уже давно подозревали специалисты по электронной микроскопии. (Замечу, что электронная микроскопия была и остается незаменимым методом изучения строения рибосом. Из ее данных впервые стало известно, каковы их форма, размеры, общая морфология, где находятся активные центры и субстраты синтеза белка. Сейчас с развитием криоэлектронной микроскопии, разрешение которой приближается к атомарному, связывают не меньшие надежды в изу-

чении рибосомы и других биологических объектов, чем с РСА.) Стайтц и Йонат описали рибосомный туннель во всех деталях. Это важно потому, что на выходе из туннеля начинается важнейший процесс сворачивания полипептидной цепи и образование уникальной третичной структуры белка. Туннелем начали активно заниматься другие лаборатории и вскоре открыли его регуляторные функции. Стайтц, Йонат со своими группами нашли, что в туннеле с рибосомой связываются мно-

гие антибиотики. Они не пропускают полипептидную цепь сквозь туннель, останавливают синтез белка на рибосоме и в конце концов убивают бактериальную клетку.

Вообще работы каждого из трех нобелевских лауреатов, посвященные изучению механизма взаимодействия антибиотиков с рибосомой, стали одним из самых впечатляющих событий, последовавших за расшифровкой ее трехмерной структуры. Именно рибосома служит мишенью почти для половины

антибиотиков, которые использовались ранее, применяются сейчас и еще будут использоваться для борьбы с болезнетворными бактериями. Связываясь с активными центрами рибосомы, они ингибируют все ее функции. Йонат, Рамакришнан и Стайтц буквально за два-три года определили структуру комплексов рибосом примерно с 30 антибиотиками, включая общеизвестные стрептомицин, хлорамфеникол и эритромицин. Контакты функциональных групп этих сложных органических молекул с компонентами рибосомы были идентифицированы тщательнейшим образом. Однако самый важный результат этой работы в том, что

стали понятны на атомном уровне причины устойчивости к антибиотикам. Это свойство как злой рок появляется у патогенов через короткое время после начала применения почти любого антибактериального лекарства. Одна из основных причин устойчивости заключается в изменении (модификации) тех химических групп в РНК и белках рибосомы, которые отвечают за связывание антибиотиков. РСА помог понять для многих групп антибактериальных средств, как нарушаются эти контакты. Возникли идеи, как эти нарушения обойти. Появилась и надежда, что золотой век антибиотиков вернется и что он уже не за горами.

Устойчивость микроорганизмов к антибиотикам — настоящий бич современной медицины. В такой казалась бы благополучной стране, как США, от больших инфекций погибает более 100 тыс. человек в год. С работами нобелевских лауреатов по химии здесь связывают большие надежды. Не исключено, что это и послужило главной причиной, почему из многих достойнейших кандидатов в 2009 г. Нобелевский комитет выбрал А.Йонат, В.Рамакришнана и Т.Стайтца.

© Академик **А.А.Богданов**
Институт физико-химической биологии
им.А.Н.Белозерского МГУ

По физиологии или медицине — Э.Блэкберн, К.Грейдер, Дж.Шостак

Нобелевская премия 2009 г. в области физиологии или медицины присуждена трем американским биологам — Элизабет Блэкберн, Кэрол Грейдер и Джеку Шостаку.

Элизабет Блэкберн (Elizabeth H.Blackburn) родилась в Австралии, в г.Хобарте, в семье врачей. В 1972 г. окончила университет в Мельбурне, а в 1975 г. получила докторскую степень в Кембриджском университете. Последующие два года работала в Йельском университете, а в 1978—1990 гг. — в Калифорнийском университете в Беркли. В настоящее время — профессор Университета штата Калифорния (Сан-Франциско).

Кэрол Грейдер (Carol W.Greider) родилась в Сан-Диего 15 апреля 1961 г. Окончила Калифорнийский университет в Беркли, где была аспиранткой Блэкберн. Сейчас возглавляет лабораторию Колд Спринг Харбор Университета Джона Хопкинса.

Профессор молекулярной биологии и генетики.

Джек Шостак (Jack W.Szostak) родился в Лондоне 9 ноября 1952 г., вырос в Канаде. Окончил Университет Мак-Гилла, где получил степень бакалавра в области клеточной биологии. Продолжил образование в Корнеллском университете, затем основал собственную лабораторию в медицинской школе Гарвардского университета. Сейчас работает в Институте Говарда Хьюза.

Официальная формулировка Нобелевского комитета гласит: премия присуждена «за открытие механизма защиты хромосом теломерами и ферментом теломеразой». Очень многие люди, незнакомые с биологией и генетикой, знают, насколько важны хромосомы, в которых локализуются все гены организма. А что собой представляют теломеры, как и от чего они защищают хромосомы? Чтобы читатель понял логику развития исследований и персональный

вклад нынешних лауреатов, подробно остановимся на работах, заложивших основы для понимания молекулярной организации теломер и механизмов их функционирования.

Термин «теломера» (от греч. телос — конец и мерос — часть) предложил еще в 1932 г. немецкий генетик Г.Мёллер (Нобелевская премия 1946 г.). В его представлении она означала не только физический конец хромосомы, но и присутствие «терминального гена со специальной функцией запечатывания (пломбирования) хромосомы», которая становилась недоступной для вредных воздействий (хромосомных перестроек, делеций, действия нуклеаз и т.д.). Отсутствие такого гена вызывало деградацию хромосом или слияние их друг с другом. Большой вклад в формирование представлений о защитной функции теломеры внесла и Б.Мак-Клинтон (Нобелевская премия 1983 г.). Хотя тогда молекулярный меха-



Элизабет Блэкберн



Кэрол Грейдер



Джек Шостак

низм защитного действия теломеры был совершенно неясен и в последующих исследованиях наличие терминального гена не подтвердилось, назначение теломеры было определено точно.

Позднее выяснилась еще одна функция теломер. Толчком для этого послужило открытие в 60-х годах прошлого века того факта, что обычный механизм репликации, основанный на работе фермента ДНК-полимеразы вдоль хромосомы, на теломерах не работает. Такое явление, названное концевой недорепликацией, означало, что, если отсутствует механизм, поддерживающий постоянный размер хромосом, они должны укорачиваться при каждом клеточном делении как минимум на несколько десятков нуклеотидов. Первым, кто указал на исключительную важность этой проблемы, был сотрудник Института биохимической физики им. Н. М. Эммануэля РАН (г. Москва) А. М. Оловников. Он предположил, что на концах хромосом должны существовать «телогены» (по аналогии с определением Мёллера), т.е. буферные участки хромосом, удаление которых не сказывается на нормальной работе клетки*. Однако

* Первая статья была опубликована в 1971 г. в «Докладах АН СССР», вторая — в 1973 г. в «Journal Theoretical Biology».

постепенное укорочение в ряду последовательных делений клетки должно приводить хромосомы к критическому короткому размеру, затрагивающему функционально важные гены. Тогда деления прекращаются, а клетка и, значит, весь организм стареют и умирают. Оловников описал гипотетический молекулярный механизм, с помощью которого клетка могла бы решить проблему концевой недорепликации (он ее называл маргинотомией, от лат. *margo* — краевой). Основу такого механизма должен составлять фермент, тандем-полимераза, включающий две субъединицы с независимыми каталитическими центрами. Факторы, регулирующие активность генов, которые кодируют ДНК-полимеразу и тандем-полимеразу, должны, соответственно, контролировать продолжительность жизни клеток и организмов. На наш взгляд, Оловников предсказал и описал основные положения науки о теломерах, которые в последующие годы экспериментально проверялись во многих лабораториях мира.

Постоянство размеров хромосом у подавляющего большинства видов эукариот в процессе онтогенеза указывало, что механизм, независимый от ДНК-полимеразы, действительно су-

ществует. Экспериментально это и доказали нынешние нобелевские лауреаты. В конце 70-х — начале 80-х годов накапливались важные экспериментальные данные, послужившие основой для успешного поиска. Вначале Э. Блэкберн и Д. Гэлл показали (1978), что у простейших на самых кончиках хромосом ДНК состоит из множества копий, следующих друг за другом (тандемно организованных) коротких повторяющихся последовательностей (повторов). Далее подобную структуру ДНК обнаружили у дрожжей, а потом у растений (арабидопсис) и человека. Такая консервативность концевой ДНК у широкого спектра эволюционно далеких организмов наводила на мысль о ее отношении к защите хромосом от концевой недорепликации.

В 1982 г. Шостак и Блэкберн решились на невероятный для того времени эксперимент. Блэкберн выделила теломерную ДНК из инфузории *Tetrahymena thermophila*, и Шостак перенес ее в дрожжи, где она начала функционировать как теломера. Исследователи также нашли, что дрожжевые клетки могут увеличивать копии теломерных тандемных повторов ДНК. Оставалось открыть молекулярный механизм этого процесса и най-

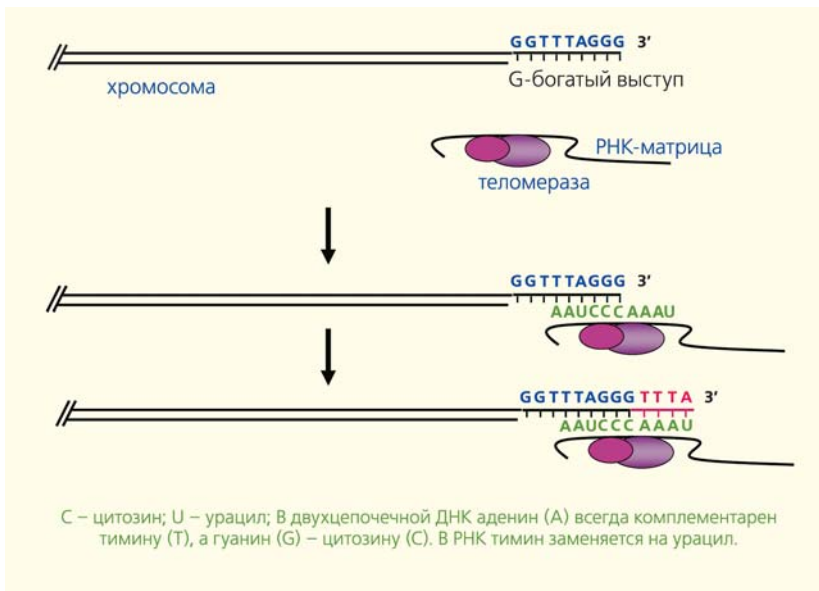
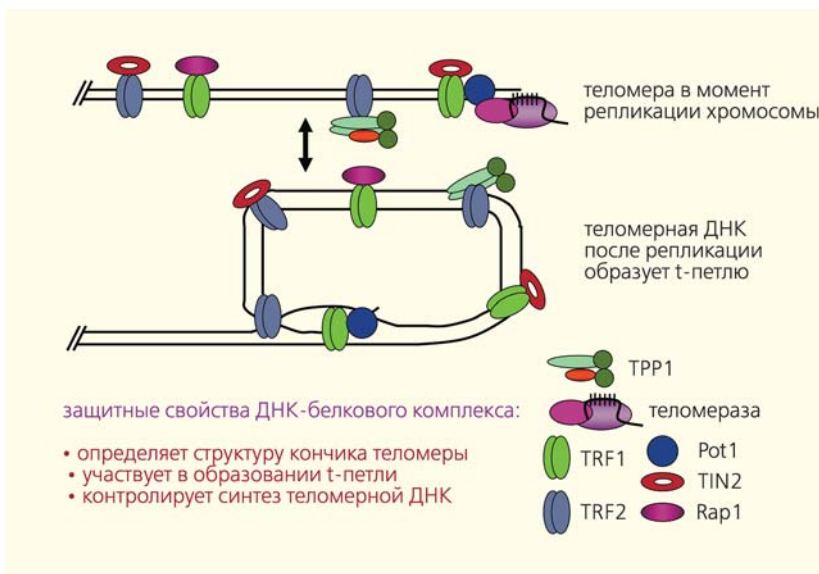


Схема работы теломеразы. РНК-матрица, имеющая гомологичный участок к теломерному повтору, соединяется с G-выступом, и происходит постепенное добавление нуклеотидов.



Модель образования t-петлевой структуры на конце хромосомы (по: де Ланж, 2004, 2005).

ти субстанции (очевидно, фермент или ферменты), которые непосредственно осуществляют наработку добавочных копий повторов.

Это сделала Грейдер, тогда студентка-дипломница, работавшая под руководством Блэкберн. Исследователи вернулись к инфузории, полагая, что тако-

го фермента должно быть особенно много у организма с высокополиплоидным ядром, имеющим примерно 20 тыс. теломер. Грейдер разработала оригинальную методику определения количества новых теломерных повторов в ядерных экстрактах. В статьях, опубликованных во второй половине

80-х годов, Грейдер и другие сотрудники лаборатории Блэкберн подробно описали фермент, осуществляющий добавление теломерных повторов, назвали его теломеразой и предложили модель работы. Она основывается на еще одной консервативной особенности в структуре теломерной ДНК – присутствии на 3'-конце относительно короткого одноцепочечного хвоста, или выступа, обогащенного остатками гуанина (G). Короткие теломерные повторы и G-выступы синтезируются теломеразой.

Этот фермент состоит из двух субъединиц (как предсказывал Оловников!) и работает подобно другому ферменту, обратной транскриптазе, используя собственную РНК-матрицу. Она имеет гомологичный участок к теломерному повтору и соединяется с одноцепочечным G-выступом. Затем происходит добавление нуклеотидов с одновременным перемещением активного сайта вдоль РНК-матрицы. Обратная транскриптаза, входящая в комплекс теломеразы, синтезирует вторую цепь теломеры. Таким образом, теломераза поддерживает постоянный размер хромосомы, а размеры G-выступа значительно отличаются у различных видов. Обычно они состоят из 20–30 нуклеотидных пар (нп), однако у многих хромосом человека G-выступы бывают длиной более 200 нп.

Другое важное направление исследований, возникшее в начале 1960-х годов, оказалось тесно связанным с биологией теломер. Л.Хейфлик обнаружил, что нормальные (мортальные) клетки человека в культуре ткани имеют ограниченное время жизни. Примерно после 50 делений популяция старела и деления останавливались. Этот феномен, названный пределом Хейфлика, Оловников связал с концевой недорепликацией хромосом. После открытия способности теломеразы реплицировать концы хромосом пред-

положили, что предел Хейфлика объясняется отсутствием этого фермента. Тесная взаимосвязь между активностью теломеразы и старением подтвердилась при сравнении многих культур мортальных клеток с иммортальными (бессмертными, способными делиться бесконечное число раз).

Оказалось, что теломераза постоянно активна только в тех клетках, которым необходимо делиться на протяжении всей жизни организма. У человека к таковым относятся кишечный эпителий, стволовые и половые клетки и т.д. В обычных соматических клетках теломеразы не активна, и теломеры в них с возрастом укорачиваются. Известно, что раковые клетки отличаются от нормальных непрерывным делением и неограниченным ростом. Клетки примерно 90% раковых опухолей обладают высокой теломеразной активностью, поэтому логично предположить, что теломераза должна быть перспективной мишенью для противораковых (прежде всего химических) средств.

Уже в XXI в. стало известно, что клетки способны сохранять постоянный размер теломер не только с помощью теломеразы. Например, в 10% раковых клеток, не обладающих теломеразной активностью, деления тем не менее происходят, а размер теломер поддерживается другим молекулярным механизмом, который назвали альтернативным, или ALT-механизмом (Alternative Lengthening of Telomeres). В основе его лежат процессы рекомбинации гомологичных последовательностей ДНК, чаще всего это участки длинных тяжей теломерных повторов. ALT-механизмы репликации существуют и в нормальных клетках; в чем их отличия от таковых в раковых клетках, пока неизвестно.

Еще одно направление исследований, возникшее после открытия теломеразы, связано с выяснением полной молеку-

лярной структуры теломеры и ее пространственной организации. Как уже отмечалось, теломераза представляет собой сложный белок. Однако теломерного повтора ДНК и теломеразы недостаточно, чтобы образовалась функциональная теломера. За последние 20 лет на концах хромосом открыты и детально изучены и другие белки, которые обволакивают теломерную ДНК. Возможно, именно они защищают концы хромосом от действия системы репарации, распознающей разрывы ДНК в хромосомах и зашивающей их. Если бы теломерная ДНК не имела защиты, то репарационная система сшивала бы ее с концом другой хромосомы.

Таким образом, теломерную ДНК можно рассматривать как платформу для сборки больших комплексов белков. Т.де Ланж на основе данных электронной микроскопии и молекулярного анализа предложила модель белкового комплекса shelterin. Он состоит из шести теломер-специфических белков и формируется на теломерах хромосом человека. Согласно этой модели, на самом конце хромосомы ДНК образует t-петлю, и одноцепочечный выступ внедряется в двухцепочечный участок ДНК, расположенный дистально. Комплекс имеет пять доменов, которые связываются с каноническими теломерными повторами ДНК. Такая структура придает клеткам уникальную способность отличать теломеры от мест разрыва хромосом. Комплекс shelterin воздействует на теломерную ДНК тремя способами: определяет структуру самого кончика теломеры; участвует в образовании t-петли; контролирует синтез теломерной ДНК теломеразой, тем самым гарантируя защиту теломеры. Подобные комплексы найдены и на теломерах некоторых других видов эукариот, как животных, так и растений.

Теломеры млекопитающих взаимодействуют со многими факторами, которые влияют на их целостность и динамику.

В последние годы получены данные, указывающие, что многие из них вовлечены также в рекомбинацию и репарацию. Это, на первый взгляд, противоречит принимаемой долгое время точке зрения, определяющей теломеру как структуру, которая нуждается в защите от сигналов, запускающих эти процессы. Однако данных в пользу близкой молекулярной природы регуляторных сигналов и структур, которые участвуют в процессах старения, образовании раковых клеток, распознавании разрывов хромосом и их репарации, становится все больше. Например, в клетках, несущих «стареющие» теломеры, запускается ответ, подобный возникающему при разрыве двухцепочечной ДНК. Каким образом клетка различает, когда одни и те же белки должны участвовать в распознавании и ликвидации хромосомных разрывов, а когда в защите функциональных теломер и поддержании постоянства их размеров, — пожалуй, самая большая загадка науки о теломерах.

Сегодня представления о теломерах далеко ушли от упрощенной точки зрения, рассматривающей их как буферную зону, не содержащую существенной генетической информации. По изящному выражению де Ланж, в структуре теломер открылся «Византийский мир» кооперативной организации и координированной работы разнообразных молекулярных комплексов и механизмов. Это своего рода узловая станция, где переплелись пути и компоненты (гены, белки, сигнальные молекулы и т.д.), вовлеченные в поддержание размеров хромосом, в репарацию разрывов и защиту от них, в процессы старения клеток и дисфункцию теломер, ведущую к возникновению опухолей.

Безусловно, открытие теломеразы, сделанное Блэкберн и Грейдер в 1985 г., стало мощным стимулом для прогресса науки о теломерах. Понимание

огромного значения этого открытия постоянно росло с накоплением информации о молекулярной структуре всего комплекса теломеры. Можно отметить, что за то же время радикально умножились наши знания о молекулярной структуре других специализированных районах хромосом — центромерах. Тем не менее Нобелевскую премию в этом году выиграли теломеры — возможно, потому, что оказались тесно связаны с канцерогенезом и старением — проблемами, близкими любому человеку.

Но вернемся к решению Нобелевского комитета по присуждению ежегодных премий. Оно почти всегда вызывает споры, которые, как правило, затрагивают две темы: достойное ли научное направление выбрал Нобелевский комитет и достойных ли представителей этого направления он награждал. На этот раз выбор открытия, достойного премии, не вызвал споров, чего нельзя сказать про выбор лауреатов. Основная критика исходила от российских ученых, ибо среди лауреатов не нашлось места для Оловникова. Согласно положению о Нобелевских премиях число награжденных по одному разделу науки не должно превышать трех человек.

Выскажу свое мнение по лауреатам. То, что профессор биологии и физиологии Калифорнийского университета Блэкберн достойна выбора, не вызывает никаких сомнений. Она была пионером в исследованиях молекулярной структуры теломер и механизмов их функционирования, всегда была лидером и остается им по настоящее время. Нет возражений и против профессора Грейдер. Будучи в момент открытия теломеразы совсем молодым ученым, работавшим под руководством Блэк-

берн, она показала себя блестящим экспериментатором и лично сделала очень много для разработки новых методических подходов. В последующие годы, руководя уже собственной лабораторией, Грейдер подтвердила свой высокий научный уровень другими работами по структуре теломер.

А вот выбор Шостака вызывает возражения. Да, он участвовал в первых, совместных с Блэкберн, экспериментах, где было показано, что теломеры дрожжей включают специфические последовательности ДНК, защищающие хромосомы. В последующие годы его основные научные интересы были связаны с созданием искусственной хромосомы, а теломерами он занимался в основном в сотрудничестве с другими лабораториями. В последнее время его лаборатория в Гарварде изучает происхождение жизни. Шостака, безусловно, крупный ученый, член Американской академии наук, но его вклад в развитие современных представлений о теломерах, по нашему мнению, уступает по значимости пионерной работе Оловникова. За 13 лет до первых экспериментов Оловников предсказал последствия укорочения хромосом и существование механизма, необходимого для поддержания постоянства размера теломер. Более того, он предугадал сложную молекулярную природу ключевого фермента, обеспечивающего работу этого механизма.

Почему же Оловникова не включили в число лауреатов? Причин, на наш взгляд, несколько. Возникшая во второй половине прошлого века молекулярная генетика сразу утвердила себя как наука экспериментальная в значительно большей степени, чем другие ветви биологии. В последние годы тенден-

ция эта только усиливается, в том числе благодаря широкому распространению биоинформатики. Тем самым подразумевается, что экспериментальные доказательства ценятся выше теоретических. Это может не нравиться (особенно нашим ученым), можно спорить, что важнее, но такова суровая реальность. Вторая причина в том, что на решения Нобелевского комитета сильное влияние оказывает англо-саксонское лобби, прежде всего американское. Кроме того, стоит проследить, как готовилось это решение. Каждый из лауреатов уже имеет множество премий и других наград, в том числе Американской академии наук и международных научных обществ. Так, в 2006 г. Блэкберн, Грейдер, Шостака удостоились очень престижной премии Ласкера с той же самой формулировкой, что и Нобелевская.

А какое признание получили работы Оловникова? Насколько известно, он не имеет никаких наград Российской академии наук. После публикации своих статей в начале 70-х годов он, к сожалению, ничего не напечатал в международных журналах, что, конечно, не способствовало росту признания его работы. Однако в данном случае не будет преувеличением сказать, что одна его статья стоила десятков других, описывающих мелкие экспериментальные наблюдения. На наш взгляд, сейчас Российская академия наук может восполнить пробел и с полным основанием наконец-то отметить наградой научные достижения Оловникова.

© А.В.Вершинин,

доктор биологических наук
Институт химической биологии
и фундаментальной медицины
СО РАН
Новосибирск

Новости науки

Астрономия

Звезда Corot-7 — обладательница двух супер-земель

В феврале 2009 г. вблизи звезды ТУС 4799-1733-1¹ с помощью спутника «Corot», запущенного в декабре 2006 г., открыта планета. Среди уже весьма длинного списка внесолнечных планет (экзопланет) более 50 обнаружены методом прохождения (по небольшому уменьшению яркости звезды в момент прохождения планеты на фоне ее диска). Этот метод работает в узких пределах значений наклона орбиты планеты относительно наблюдателя и позволяет определять ее радиус, а наряду с данными о массе планеты — судить о ее средней плотности и внутренней структуре, делать выводы о ее формировании и эволюции. В частности, физический размер планеты определяется на основе анализа кривой блеска звезды.

Звезда, получившая теперь название Corot-7, находится в созвездии Единорога на расстоянии около 500 св. лет от Земли. По размерам она немного меньше и холоднее, чем наше Солнце, и моложе — возраст около 1.5 млрд лет. Скорость обращения экзопланеты, обозначенной Corot-7b, велика — каждые 20.4 ч она затмевает очень малую часть света звезды. Находится экзопланета на расстоянии 2.5 млн км от звезды (в 23 раза ближе, чем Меркурий от Солнца), по размерам немного превышает Землю (ее радиус на 80% больше земного).

¹ ТУС 4799-1733-1 означает: каталог Тусхо, цифры по порядку — № пластинки каталога, № звезды на пластинке, индекс кратности звезды.



Экзопланета Corot-7b. Из всех известных на сегодня экзопланет эта — самая близкая по расположению к своей звезде, что и определяет экстремальные условия на ней. Согласно теоретическому моделированию, ее поверхность покрыта лавой или кипящими океанами. На некотором расстоянии от звезды видна и ее планета-сестра Corot-7c.

Изображение ESO/L.Calcada

Первоначально сложно было определить массу экзопланеты: требуется очень точное измерение скорости звезды, на которую накладываются слабые колебания, вызванные вращающейся вокруг нее экзопланетой. Кроме того, на вариации скорости звезды Corot-7b влияет активность пятен на ее поверхности (подобных пятнам на Солнце), которые представляют собой более холодные области. Учитывая, что и сама звезда достаточно холодна, вариации из-за пятен очень существенны. Когда эти активные области обращены в сторону наблюдателя, средняя температура и светимость звезды уменьшаются. По таким вариациям и определена скорость вращения звезды — примерно 23

дня. Для обнаружения столь малых изменений светового потока был использован спектрограф HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher) на 3.6-метровом телескопе на Европейской южной обсерватории в Чили. И хотя точность спектрографа очень высока, для обнаружения Corot-7b понадобилось копить сигнал 70 ч. В итоге удалось выделить 20.4-часовой сигнал от планеты. По этой величине вычислена ее масса — около пяти земных масс (точность — 20%). Таким образом, это самая малая из известных на данный момент экзопланет. Зная радиус и массу планеты, можно определить ее плотность и получить более полное представление о внутреннем строении.

Судя по массе, близкой к земной, Corot-7b относится к так называемым супер-землям. Таких экзопланет известно уже около десятка, однако для столь маленькой экзопланеты плотность измерена впервые. Ее расчетная плотность близка к земной в предположении, что планета каменная. Однако не исключено (ошибка в определении плотности достигает 70%), что она состоит из смеси льда, кремния и, возможно, имеет железное ядро. Таким образом, по плотности планета занимает промежуточное положение между Землей и Ураном.

Corot-7b — самая близкая по расположению к своей звезде экзопланета, что делает ее и самой быстрой — она обращается вокруг звезды со скоростью свыше 210 км/с (более чем в семь раз быстрее движения Земли вокруг Солнца). На стороне планеты, повернутой к звезде, температура достигает 2000°C, а на ночной — 200°C. Согласно теории, такая планета может иметь океаны кипящей лавы на поверхности, но при столь экстремальных условиях она, конечно, непригодна для жизни.

Благодаря чрезвычайно высокой точности HARPS обнаружена и соседка Corot-7b, расположенная чуть дальше от звезды. Она получила название Corot-7c. Ее оборот вокруг звезды происходит за 3 дня и 17 ч. В отличие от Corot-7b, ее прохождение не видно с Земли, поэтому определить ее радиус и плотность не представляется возможным. Поскольку ее масса примерно в восемь раз больше земной, она тоже относится к категории супер-земель.

Таким образом, планетарная система звезды Corot-7 состоит из двух короткопериодичных супер-земель. Определение параметров такой системы демонстрирует высочайшую точность измерения радиальных скоростей экзопланет с помощью наземных инструментов.

The Corot-7 Planetary System:
Two Orbiting Super-Earths
(<http://exoplanet.eu/papers/corot7-RV.pdf>),
arXiv:0908.0241v3.

Астрономия

Новый спектрограф Европейской южной обсерватории

Сейчас модно разделять эволюцию различных технических средств на поколения — истребитель пятого поколения, ЭВМ шестого поколения и т.д. Не остались в стороне от этого веяния и разработчики астрономического оборудования. В 2009 г. на Европейской южной обсерватории (ESO) введен в строй первый инструмент второго поколения для телескопов VLT — спектрограф «X-Shooter». Его отличает широчайший спектральный диапазон, простирающийся от ультрафиолетового до инфракрасного света. До сих пор, чтобы измерить спектр астрономического объекта с таким широким охватом, приходилось прибегать к наблюдениям на нескольких приемниках излучения, а то и на нескольких телескопах. Это приводит к нежелательным сложностям при сведении данных в единый спектр, ведь от ночи к ночи меняются условия наблюдений, которые зачастую с трудом поддаются учету, не говоря уже о неопределенностях, связанных с использованием различных телескопов.

Новый спектрограф позволяет одновременно получать спектр умеренного разрешения в диапазоне от 300 нм до 2.4 мкм, сокращая потребности в наблюдательном времени как минимум в три раза и обеспечивая однородность получаемых данных. Это качество особенно важно при исследовании быстропротекающих явлений, например гамма-всплесков, когда вообще отсутствует возможность наблюдения на нескольких инструментах. К тому же в подобных случаях заранее не известно, на какой участок спектра придется максимум излучения, поэтому выбор конкретного более узкополосного инструмента может оказаться ошибочным.

Конечно, полнота охвата достигнута не даром: новый прибор, который фактически объединяет три спектрографа — для УФ-, види-

мого и ИК-диапазонов, — весит 2.5 т и обошелся в 6 млн евро. В разработке спектрографа «X-Shooter» помимо ESO участвовали 11 институтов из Дании, Франции, Италии и Нидерландов. Тем удивительнее относительно короткий срок разработки прибора — всего пять лет начиная с первого организационного совещания. Собственно создание инструмента началось в апреле 2006 г. Уже в конце 2008-го он был установлен на обсерватории, а в марте 2009-го на нем были проведены первые наблюдения. С 1 октября 2009 г. новый спектрограф поступил в распоряжение научного сообщества. Интерес к нему со стороны ученых просто огромен: в первые же месяцы эксплуатации «X-Shooter» стал одним из самых востребованных инструментов на телескопах VLT.

В настоящее время на четырех телескопах VLT работает 13 различных инструментов первого поколения. Спектрограф «X-Shooter» — первый из инструментов второго поколения — пришел на смену спектрографу низкого разрешения «FORS1» («Focal Reducer and low dispersion Spectrograph»), который после 10 лет работы был выведен из эксплуатации 1 апреля 2009 г. На телескопе «VLT-Kueyen» и был установлен «X-Shooter». Постепенно модернизации подвергнутся и другие инструменты обсерватории.

<http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2009/pr-20-09.html>

Физика

Обойдемся без резонатора

Для передачи квантовой информации с помощью фотонов необходимо их достаточно сильное взаимодействие с атомами. Если отдельный атом поместить в микрорезонатор с высокой добротностью, вероятность поглощения им фотона очень близка к единице. Однако изготовить такой резонатор, да еще привести его в точный резонанс, весьма сложно. А можно ли вообще обойтись без резонатора?

Эту задачу решили ученые из Национального университета Сингапура¹. Для проведения эксперимента было необходимо осветить всего один атом в ловушке и измерить поглощение — современные методы позволили это сделать. Эффективное поглощение фотонов атомами действительно наблюдалось — оно объясняется тем, что сам по себе атом в ловушке имеет высокую добротность.

Проведенный эксперимент может дать новый импульс к созданию квантовых компьютеров на атомах в ловушках, поскольку это позволяет отказаться от резонаторов. Кроме того, новые перспективы открываются и в оптических квантовых компьютерах. Хотя взаимодействие фотонов друг с другом очень слабое, оно может усиливаться благодаря посредничеству атомов.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2009. Т.16. Вып.1/2).

Физика

Расширение магнитных нанокристаллов при охлаждении

Подавляющее большинство твердых тел при охлаждении сжимаются, поскольку амплитуда тепловых колебаний атомов уменьшается. Однако из этого правила есть исключения. Например, в соединении ZrW_2O_8 при понижении температуры ослабление колебаний атомов кислорода приводит к «выпрямлению» связей $Zr-O-W$, в результате чего объем образца увеличивается. Нагрев же приводит к уменьшению межатомных расстояний, так что в случае ZrW_2O_8 коэффициент термического расширения отрицателен.

Принципиально другой механизм отрицательного термического расширения, эффект от которого на четыре порядка больше, чем у ZrW_2O_8 , наблюдали японские физики². Они изучали соединения CuO , NiO и MnF_2 , в каждом из кото-

рых у атомов металлов есть магнитный момент. При высокой температуре ориентация этих моментов быстро и хаотически изменяется, поэтому магнитная составляющая энергии взаимодействия двух соседних атомов соответствует то их притяжению, то отталкиванию. При охлаждении образца флуктуации ослабевают, и магнитные моменты становятся в той или иной степени упорядоченными. Два соседних момента могут быть направлены как в одну сторону, так и в противоположные. Соответственно, магнитные атомы либо сближаются, либо удаляются друг от друга. В NiO отталкивание и притяжение взаимно компенсируются, а в CuO и MnF_2 преобладает отталкивание — решетка «распухает».

Самое интересное состоит в том, что этот эффект многократно усиливается при измельчении образца до наноразмеров. Наиболее ярко он выражен в CuO при размере нанокристаллитов (мельчайших кристаллов, не имеющих четкой выраженной ограниченной формы) около 5 нм. Физические причины этого явления пока не вполне ясны. Но уже сейчас его можно использовать для изготовления наноструктурированных композитов с заданным коэффициентом термического расширения, в том числе с нулевым. А это очень важно для обеспечения устойчивой работы многих приборов в широком диапазоне температур.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2009. Т.16. Вып.1/2).

Экология

Загрязнена ли Волга?

Считается, что в настоящее время р.Волга, на территории водосбора которой самая высокая плотность населения и концентрация промышленности, превратилась в канал сброса загрязнений практически со всей европейской части России. Действительно, в этом крупнейшем природном, промышленном и социальном комплексе проживает около 60 млн человек, производится 45%

промышленной и около 50% сельскохозяйственной продукции. Здесь построено 12 крупных водохранилищ (а это отстойники осадочного вещества и загрязнений, ловители биогенов); только в Горьковское и Чебоксарское водохранилища сброс загрязнений в 2000—2003 гг. составлял от 100 до 400 тыс. т/год. Сейчас Волга представляет собой реку с уникальным ходом природных явлений: с зимним паводком и заторможенным (зарегулированным) весенним паводком. А каково ее экологическое состояние?

Летом 2009 г. на борту НИС «Валаам-1» была проведена экспедиция, организованная Институтом океанологии им.П.П.Ширшова РАН и Институтом водных проблем РАН, которая проходила в рамках проекта «Система Каспийского моря» (руководители — академик А.П.Лисицын и член-корреспондент РАН Л.И.Лобковский).

Предварительные результаты многодисциплинарных исследований показали, что, несмотря на высокую антропогенную нагрузку на территорию водосбора, для речных вод по всему маршруту экспедиции (а было пройдено 3100 миль) характерно низкое содержание взвеси (не более 10 мг/л) и хлорофилла (35 мкг/л), причем значительных изменений до и после больших городов не наблюдалось. В частности, до и после Нижнего Новгорода концентрации взвеси составили соответственно 3.6 и 3.9 мг/л, с максимумом в устье Оки — 12.7 мг/л; содержание хлорофилла изменялось от 12 до 33 мкг/л, тоже с максимумом в устье Оки. Аналогичное распределение концентраций взвеси и хлорофилла отмечено при слиянии других рек с Волгой. До Нижнего Новгорода по величине показателя ослабления света (оптическая характеристика) вода была мутной, в наибольшей степени — в устье Оки. После шлюза г.Тольятти началась зона «чистой воды» — в большинстве случаев профиль ослабления света оставался здесь практически однородным до дна. Исключение наблюдалось в узлах смешения Волги с притоками, где

¹ *Tey M.K. et al. // Nature Phys. 2008. V.4. P.924—927.*

² *Zheng S.G. et al. // Nature Nanotech. 2008. V.3. P.724—726.*

максимумы мутности существуют на глубинах 1.5—2 м.

Распределение концентраций БПК₅ (биологическое потребление кислорода за 5 сут) в поверхностных водах тоже свидетельствовало о незначительном загрязнении, так как даже средняя величина 3.3 мг/л оказалась немногим выше ПДК для хозяйственно-питьевого водопользования — 2 мг/л, но ниже ПДК для водоемов культурно-бытового назначения — 4 мг/л. Наиболее высокие показатели — в Куйбышевском водохранилище выше Казани (6.7 мг/л) и на Нижней Волге в районе с.Верхнее Лебяжье (6.8 мг/л).

Под электронным сканирующим микроскопом во взвеси обнаружено большое количество биогенных частиц, состоящих из пресноводных водорослей, а также спор и пыльцы. Клетки фитопланктона встречались в незначительном количестве. Среди минеральных частиц есть агрегаты, состоящие из мелких чешуйчатых образований, глинистые минералы и очень тонкая минеральная взвесь, которая иногда плотным слоем покрывала всю поверхность фильтра. Высокое содержание крупных минеральных зерен и агрегатов глинистых частиц отмечалось в районе крупных городов (вероятно, скорость потока здесь замедляется, создавая условия для агрегирования глинистых частиц; возможно также, что это микроагрегаты почв, которые попали из водосборного бассейна). Кроме минеральных частиц присутствуют диатомовые, их колонии и кокколиты. Пепла в пробах взвеси не обнаружено.

При исследовании зон смешения Волги с ее притоками установлено, что максимальная разница по температуре и электропроводности наблюдается при слиянии Оки с Волгой, что обусловлено, по видимому, большим поступлением минеральных веществ в русло из-за распаханности водосбора. Загрязненные воды Оки приносят большое количество фосфора, поэтому фосфорная нагрузка на Чебоксарское водохранилище в 3—5 раз выше, чем на Горьковское.

Концентрация углеводов в поверхностных водах изменялась в интервале 6.2—38.8 мкг/л, а средняя — 16.4 мкг/л — соответствовала их фоновому уровню в прибрежных акваториях (16—20 мкг/л) и в дельте Волги в 2007 г. (18 мкг/л). Наиболее высокое содержание углеводов — в водах Нижней Волги перед Астраханью (39.2 мкг/л) и в районе с.Новое Икрыное (38.8 мкг/л), однако и эти величины ниже ПДК для нефтяных углеводов (50 мкг/л). Все это может свидетельствовать о незначительном нефтяном загрязнении. Важно, что в последние годы концентрация углеводов в устьевой части Волги снизилась по сравнению с 1995—2004 гг.

В донных осадках максимальная концентрация углеводов установлена в илах устья р.Камышинки — 485 мкг/г (1.2% от $C_{орг}$). В песчаных осадках их доля в составе $C_{орг}$ (в среднем 4.4%) оказалась значительно выше, чем в илистых (в среднем 0.39%). Такое распределение углеводов в осадках разного литологического типа обычно возникает при небольших глубинах за счет пассивной сорбции нефтяных углеводов. Поэтому степень антропогенной загрязненности грубодисперсных осадков может быть больше, чем илистых. В устьевой области рукавов Волги, где осадки представлены в основном песчаными отложениями, концентрации углеводов не превышали 35 мкг/г (они были значительно ниже, чем в 2005 г., когда достигали 182 мкг/г, а в отдельных случаях — 16.8—23.9% от $C_{орг}$).

Таким образом, по всему маршруту экспедиции наблюдалось характерное для летней межени низкое содержание хлорофилла и взвеси. При слиянии Волги с ее притоками главную роль играют диффузия и разбавление. Изменение концентраций исследованных соединений в основном происходит под влиянием природных процессов. Содержание углеводов в поверхностных водах соответствовало их фоновому уровню. Однако в дельте Волги их по-

вышенная доля в составе $C_{орг}$ песчаных осадков может быть обусловлена влиянием нефтяных загрязняющих веществ.

© И.А.Немировская,
доктор геолого-
минералогических наук
Москва

Эпидемиология

Крокодилы тоже болеют гриппом?

Угроза эпидемий гриппа порой привлекает внимание исследователей к самым неожиданным группам риска. Так, ученые эпидемиологических служб США Л.М.Дэвис и Э.Спекман¹ поставили перед собой задачу выяснить, угрожает ли грипп А (H1N1) крокодилам.

Задача не покажется парадоксальной и несерьезной, если учесть, что крокодилы повсеместно обитают там, где водится множество водно-болотных птиц. А последние (вспомним: «птичий» грипп) относятся к серьезным распространителям инфекции. Кроме того, крокодилы во множестве содержат на фермах, а такая неестественная скученность — опасная предпосылка для возникновения эпизоотий, которые угрожают не только серьезными экономическими потерями, но и представляют реальную угрозу для людей.

На двух крокодиловых фермах во Флориде Дэвис и Спекман взяли пробы у 37 крокодилов, относящихся к четырем видам. Кроме того, они проанализировали экскременты, собранные в природе. Анализы проводили двумя стандартными способами и получили противоречивые результаты. Тест RT-PCR (полимеразная цепная реакция в реальном времени) дал положительный ответ в четырех случаях, но тест ACID эти данные не подтвердил.

Тем не менее первый шаг в изучении проблемы сделан. Кроме того, американские специалисты установили наиболее эффективные методические подходы, в ча-

¹ Davis L.M., Spackman E. // J. of Experimental Zoology. 2008. V.309. №10. P571—580.

стности взятие серологических проб и проб из слизистых дыхательных путей, а также экспериментальное заражение низкопатогенным вирусом гриппа А.

© Д.В.Семенов,
кандидат биологических наук
Москва

Зоология

Редкий случай поимки меч-рыбы в Балтийском море

На VII международной научной конференции «Инновации в науке и образовании — 2009» К.В.Тылик (Калининградский государственный технический университет, КГТУ) сообщил о документально зарегистрированном случае поимки в июле 2009 г. меч-рыбы у побережья Калининградской обл., возле г.Балтийска.

Меч-рыба (*Xiphias gladius*) — единственный представитель семейства мечерых рыб, близких родственников тунцов. Распространена в тропиках и субтропиках всех океанов, гораздо реже встречается в северо-восточной Атлантике, а в Балтийском море — и вообще редкий гость. Это типичный одиночный обитатель открытых вод океана, великолепный пловец, способный развивать скорость свыше 100 км/ч благодаря обтекаемому торпедовидному туловищу и вытянутой в длинный отросток верхней челюсти в виде меча. Такой «меч» улучшает гидродинамические свойства рыбы, а иногда, как считают, используется ею для атаки на жертв, имеющих средние и крупные размеры. Сама же меч-рыба может достигать 6 м в длину при массе более 500 кг. Обитает в широком диапазоне глубин — от поверхности до 800 м. В холодные участки своего ареала проникает летом и ранней осенью, причем нереста в таких местах быть не может, поскольку для этого необходима температура не ниже 28—29°C. Будучи прожорливым хищником, меч-рыба совершает продолжительные сезонные миграции, питаясь стайными рыбами и кальмарами.

Поимки меч-рыбы в Балтийском море были известны и раньше: у латвийских берегов, например, зафиксировано девять случаев до Второй мировой войны и два случая после (в 1952 и 1993 гг.); у берегов Литвы ее вылавливали в 1931, 1934 и 2002 гг.; несколько редких случаев отмечено у польских берегов, и всегда в период с августа по ноябрь.

У побережья Калининградской обл., непосредственно у мола в г.Балтийске, руками поймал меч-рыбу А.Лятун. Заметив крупную рыбу во время рыбалки, он спустился в воду и удерживал ее, пока не подросла помощь. Длина особи составляла 247 см, масса 76,2 кг. Окраска естественная — темно-голубая спина, светлые с блеском бока, почти белое брюхо. Рыба была живая, но ослабленная, и поэтому сильного сопротивления не оказала. Причиной ее малоактивного состояния и последующей гибели послужила значительно более низкая, чем в океане, соленость Балтийского моря, к которой океанская рыба приспособиться не может.

Голова пойманной особи передана Лятуном на кафедру ихтиологии и экологии КГТУ, ей предстоит занять свое место в ихтиологическом музее.

Труды VII Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании — 2009». Калининград, 20–22 октября 2009 г. Ч.1. С.47–48 (Россия).

Палеонтология

Слоны в плейстоцене Сибири

Эволюцию слонов семейства Elephantidae на территории Сибири проследили, используя многочисленные источники, Е.Н.Машенко (Палеонтологический институт им.А.А.Борисяка РАН, Москва) и Н.П.Калмыков (Институт аридных зон Южного научного центра РАН, Ростов-на-Дону). Эта группа крупных млекопитающих была широко распространена в Сибири в эпоху плейстоцена. Наиболее древние представители семейства — архидискодоны (*Archidiskodon* sp.) — жили в западном Забай-

калье более 3.3 млн лет назад. Начиная с конца раннего плиоцена и до середины голоцена в Западной и Восточной Сибири обитали только представители группы мамонтоидных слонов (отметим, что при рассмотрении их эволюции авторы используют западно-европейскую шкалу плейстоцена, нижняя граница которого определяется в 1.86 млн лет назад).

Традиционно территория Сибири считается принципиально значимой для понимания эволюции мамонтоидных слонов. Их история в позднем плиоцене и первой половине раннего плейстоцена недостаточно ясна: известно, что с конца раннего плейстоцена они жили на северо-востоке и юго-западе Сибири, а на остальной ее территории их присутствие установлено приблизительно с 400—300 тыс. лет назад. Кроме того, из Центральной Азии около 200—150 тыс. лет назад в южные районы Западной и Восточной Сибири проникла группа лесных слонов — *Paleoloxodon*.

Согласно имеющимся данным, среди семейства мамонтоидных слонов Западной Сибири наиболее древними считаются поздние представители вида *M.trogotherii*. На севере Западной и Восточной Сибири почти повсеместно, по крайней мере с середины позднего плейстоцена, был распространен вид *M.primigenius*. Предполагается, что именно трогонтериевый мамонт, адаптируясь к меняющимся природным условиям, трансформировался в более поздний вид *M.primigenius*, причем процесс трансформации сопровождался появлением серии различных переходных форм с промежуточной морфологией.

Причиной вымирания последних представителей мамонтоидных слонов Сибири, по всей видимости, послужило сочетание множества как биотических, так и абиотических факторов, при этом выделить доминирующую причину весьма затруднительно.

Материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Новосибирск, 19–23 октября 2009 г. С.401–404 (Россия).

Занимательно и очень серьезно

В.В.Хлебович,

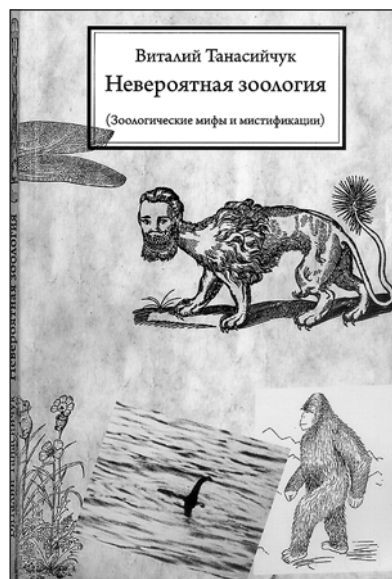
доктор биологических наук
Зоологический институт РАН
Санкт-Петербург

Книга Виталия Николаевича Танасийчука многопланова и многослойна. Первое впечатление от нее — изящная занимательность. Увлекательно рассказана история создания зоологии начиная с Аристотеля и Плиния Старшего, состояние этой науки в Средние века — с бестиариями и «Физиологусом», полными описаний фантастических существ. Прекрасно изложены милые шутки-мистификации Герольда Штайнера о носоходках* (ринограденциях), Ольги Михайловны Ивановой-Казас** и Карла Банзе о системе и образе жизни русалок. Много примеров потешных зоологических ошибок, сделанных журналистами, а то и маститыми академиками. Вся книга написана, казалось бы, в едином легком стиле, однако по мере чтения, а затем после перечитывания отдельных мест у меня все более нарастало чувство тревоги.

Вот идет подробный рассказ об историях «встреч» с лох-несским чудовищем и его собратьями из других озер, вплоть до российских заполярных. На этом примере видно поразительное упорство массы людей в стремлении доказать существование того, чего быть не может. В первую очередь, не может быть по экологическим причинам — нет достаточных для этих гигантов пищевых ресурсов, оптимальных для жизни больших

животных температур (теплокровные должны много есть для обогрева тела, а хладнокровные для зимней спячки накопить массу жира за счет активного летнего питания). Наконец, для воспроизводства популяции нужно определенное количество особей. Нечто подобное уже более полувека происходит и вокруг снежного человека (он же — йети, алмасты, бигфут, сасквач и др.).

Разбирая сведения об этих объектах, Виталий Николаевич серьезно обобщил большой материал со ссылками на газетные и журнальные статьи, книги и интернет-ресурсы. Примечательно, что ссылки эти даны не классическим образом — в виде сносок внизу страниц или списка литературы в конце книги, а приведены в тексте с личными характеристиками первооткрывателей и очевидцев. Это хотя бы частично позволяет понять, почему, несмотря на поток публикаций, до сих пор нет ни одного достоверного материального доказательства существования этих объектов. Озеро Лох-Несс перепахано тралами и подводными телекамерами вдоль и поперек. Все находки шерсти снежного человека оказались подделками из акриловых волокон или шерсти бизонов. Выставившийся в США «Замороженный» (описанный в научном журнале!) в присутствии экспертов не размораживался и таинственно исчез, не оставив доказательств своего существования в виде доступного исследования тела. Доказано, что многочисленные отливки следов снежного человека, фото и кинокадры — в значительной



В.Н.Танасийчук. НЕВЕРОЯТНАЯ ЗООЛОГИЯ.

М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 372 с. (Зоологические мифы и мистификации).

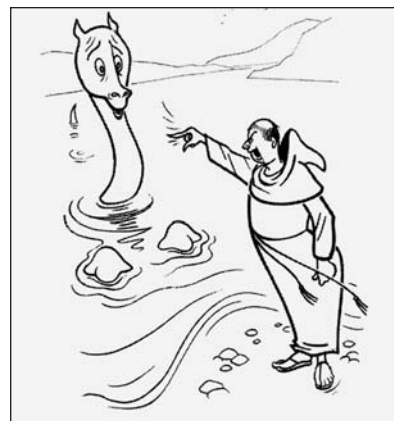
* Подробнее см.: *Фелдоянц С.Д., Зельбстандер А.* // Природа. 2000. № 4. С. 46—54.

** Подробнее см.: *Иванова-Казас О.М.* // Природа. 2002. № 4. С. 17—24; 2004. № 4. С. 49—54; 2006. № 4. С. 44—48; 2007. № 4. С. 31—47.

степени результаты действия шутников или жуликов. И удивительным образом у «очевидцев» почему-то в нужный момент не оказывается фотоаппарата или кадры получаются предельно нечеткими. Обратите внимание — массовое применение цифровых фотоаппаратов, в том числе встроенных в мобильные телефоны, не улучшило «доказательной базы» существования Несси, снежного человека и других объектов исследований так называемой криптозоологии (от греч *κρυπτός* — скрытый).

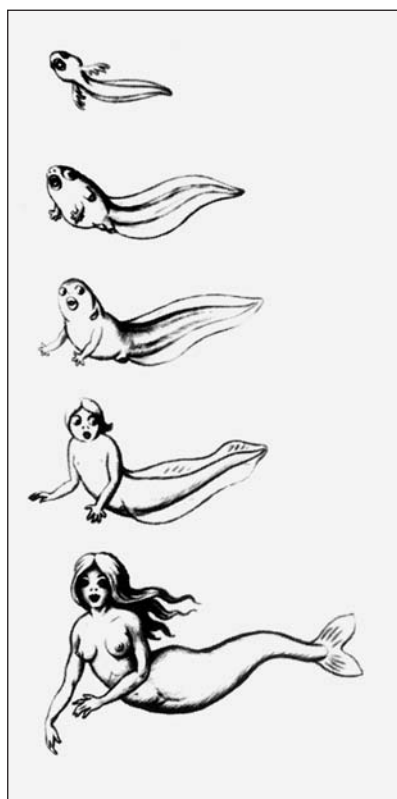
Виталий Николаевич в легкой, почти игривой форме показал современные ужасающие масштабы этой паранауки: выходят отечественные сборники и международный журнал «Cryptozoology», лавинообразно нарастает масса информации в Интернете. Публиковались даже методические рекомендации школьникам по наблюдению за снежным человеком в окрестностях Санкт-Петербурга.

Честно скажу, благодаря книге Танасийчука я со своим более чем полувекowym опытом работы зоологом впервые остро прочувствовал опасность, исходящую от паранауки. Я вспомнил свои встречи с фанатичными личностями, с которыми просто нельзя было спорить о предмете. Основатель криптозоологии — бельгийский профессор Бернар Эйвельманс написал в одной из своих статей, опубликованной в 1984 г. в №3 журнала «Cryptozoology»: «Честнолюбивая цель криптозоологии — быть способной научно описать животное, прежде чем оно будет поймано или собрано». Криптозоологические описания обильны, а вот подтверждающих их пойманных и собранных образцов не видно. «Описаны» и получили бинарные латинские названия и лохнесское чудовище, и снежный человек. А материальных носителей, соответствующих названию, в коллекционных храни-

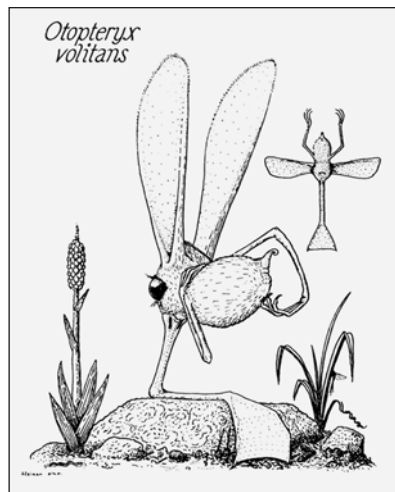
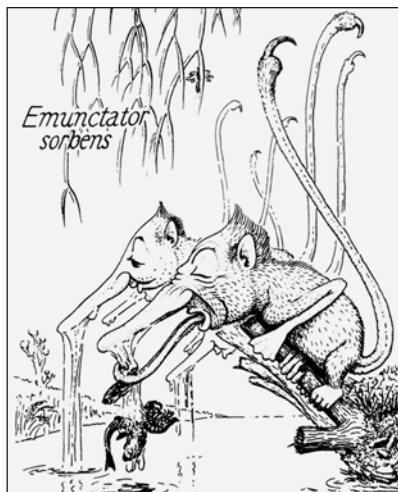


По мнению шотландского карикатуриста, именно так происходила встреча святого Колумба с лохнесским чудовищем.

лищах нет. Еще раз отметим мудрость Международного кодекса зоологической номенклатуры, признающего валидным достаточно полное описание нового вида животного в солидном журнале. Обязательное условие — выделение типового



Метаморфозы русалки (слева) и водяного по Н.Н.Кондакову.



Шмыгучие сморкачи, крылоух летящий и золотисто-серый медохвост — обитатели островов архипелага Хейейей. Рисунки из книги-розыгрыша «Строение и жизнь ринограденций» профессора Харальда Штюмпке (Герольда Штайнера).

экземпляра этого животного и указание номера, под которым он хранится в коллекционном фонде, будучи доступным специалистам для ревизии. Это — защита как от добросовестных заблуждений, так и от мошенничества.

Массовое увлечение криптозоологией и фанатичная вера в существование недоказанных экзотов, так ярко продемонстрированные Танасийчуком, требуют осмысления. В основе этого безусловного, с моей точки зрения, заблуждения лежит нарушение общих принципов логики. Во-первых, приходят в голову слова Аристотеля — прежде чем изучать предмет или явление, нужно убедиться, что они существуют. И, во-вторых, согласно признанному правилу У.Оккама, «не следует множить сущее без необходимости». Обычно криптозоологами строятся многоступенчатые пирамиды из нарушений этих основных правил логики. Признав на основании сомнительных показаний существование лох-несского или других подобных чудовищ (родичей дышащих легкими динозавров!), объясняют редкость их появления на по-

верхности озер тем, что они дышат в каких-то подводных пещерах или вообще перешли к кожному дыханию (что для крупных существ невозможно). Те, кто заявляют о существовании снежного человека на северо-западе нашей страны, на вопрос, чем он питается зимой, утверждают, что он, как медведь, впадает в спячку. Отсутствие следов берлог или жизнедеятельности смело объясняют паранормальными способностями снежного человека — он-де не оставляет следов и не попадает на глаза. А некоторые криптозоологи связывают проявления снежного человека с НЛО.

Активность паранауки не так уж безобидна. Сенсационные передачи ТВ (особенно преуспел в них «мистический» канал ТНТ) забивают головы зрителей антинаучной чушью. Возникают коммерческие туры в поисках снежного человека. Сейчас, когда я пишу эту рецензию, на моем столе лежит номер «Комсомольской правды» от 27 августа 2009 г. с рекламой: «Учеными открыт потрясающий лечебный эффект взаимодействия торсионных полей с волновым геномом человека. Единст-

венный медицинский аппарат, создающий торсионные поля — “БМДТ”... “БМДТ” избавляет от хронических респираторных заболеваний...».

Ау, коллеги, физики и генетики! Если мы все не будем сопротивляться, паранаука вытеснит нас со страниц массовых изданий и даже школьных учебников ровно так, как повсюду искусство вытесняется попсой и гламуром. А усилия Комиссии по борьбе с лженаукой при Российской академии наук, к сожалению, известны только немногим заходящим на ее сайт.

Спасибо автору и издательству КМК за предельно полезную книгу. Она достойна быть на столе каждого зоолога — и не только зоолога. Веселая и увлекательная, она служит образцом сопротивления любой паранауке.

Удручает тираж — 1000 экземпляров; к сожалению, такие тиражи для научно-популярной литературы стали обыденностью, система ее распространения разрушена.

На случай переиздания отметил бы неудачный шрифт открывающих книгу эпиграфов и отсутствие указания имени художника, автора удачной обложки. ■

Экология

ИЗМЕНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА. ПРИРОДНЫЕ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ: В 8 т. / Пред. ред. кол. Н.П.Лаверов. М.: ИФЗ РАН, 2008. Т.4: Процессы в биосфере: изменения почвенно-растительного покрова и территориальных вод РФ, круговорот веществ под влиянием глобальных изменений климата и катастрофических процессов / Отв. ред. Г.А.Заварзин, В.Н.Кузьяров. Пушкино; М.: ИБР и БПП РАН, ИФЗ РАН, 2008. 268 с.

В этой коллективной монографии представлено 11 больших статей, посвященных самым разным темам. Это и исследования почв разных ландшафтов, температурный режим мерзлотных почв, климат и первичная продукция фотосинтеза, влияние катастроф на лесные экосистемы, микробные процессы в болотных экосистемах, ртутные загрязнения в Братском водохранилище, исследования газовых гидратов в осадках вулканов оз.Байкал, изучение морской биоты на примере залива Петра Великого, особенности цикла углерода на шельфе восточного сектора Российской Арктики. Последняя, завершающая сборник, статья посвящена сравнительной оценке адаптации человека в контрастных экологических условиях. Книга рассчитана на специалистов в области наук о Земле, лесоведения и озераведения, а также на почвоведов, экологов и микробиологов.

Геология

А.А.Никонов. Землетрясения... Прошлое, современность, прогноз. 3-е изд. М: Книжный дом «ЛИБРКОМ», 2009. 192 с.

Вниманию читателей предлагается научно-популярная книга о природе и причинах

землетрясений. Автор — Андрей Алексеевич Никонов, известный сейсмолог, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН и бессменный автор нашего журнала. Он доступно объясняет основные термины и понятия, принятые сейсмологами и геофизиками, рассказывает о «следах» землетрясений, обнаруженных при археологических раскопках, при изучении исторических документов, мифов, сказаний и легенд, затрагивает проблему прогноза землетрясений и показывает, насколько она трудна и далека еще от окончательного решения. Значительное место в книге отведено научным, общественным и технико-экономическим мерам противостояния стихии — сейсмозащите.

Рекомендуется как специалистам — геологам, геофизикам, сейсмологам, так и широкому кругу читателей.

Гляциология

Шполянская Н.А. ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЭВОЛЮЦИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ. М.: Географический факультет МГУ, 2008. 132 с.

Книга, предназначенная для студентов географических специальностей, знакомит с проблемами криолитозоны — единой области постоянного охлаждения.

В книге представлена многоплановая связь вечной мерзлоты (ее температуры, распространения, криогенных процессов) с климатом. Она осуществляется путем теплообмена между горными породами и атмосферой в разнообразных физико-географических условиях. Изменение ландшафтной обстановки при меняющемся климате влияет на характер теплообмена и тем

самым — на температурное поле вечной мерзлоты и протекающие в ней мерзлотные процессы.

Наряду с современными представлениями о естественных и антропогенных причинах колебаний климата исследуется реакция вечной мерзлоты на его изменения. Временная динамика температурного поля мерзлых пород представлена как следствие климата прошлых эпох и как прогноз будущих изменений. Приводятся результаты численных расчетов и моделирования.

История науки

О.Гомазков. СОВРЕМЕННЫЙ ДНЕВНИК / Авторская редакция. М.: Икар, 2009. 196 с.

Автор книги — физиолог, ему принадлежат множество научных статей и несколько монографий. Но помимо научных публикаций он написал несколько литературных произведений. «Доминанта», «Прогулки в детство», «Портреты разных времен» нашли своих читателей.

«Современный дневник» продолжает личную тему автора. Книгу можно разделить на две части. Основной раздел «Времена, изъятые из контекста» — размышления о прошлом, куда включены эссе и публицистические заметки, здесь и рассказы о судьбах людей, хорошо знакомых автору. Второй, небольшой, раздел «Листки дорожных блокнотов» — путевые заметки, впечатления от поездок в Испанию, Италию, Японию, Болгарию.

Книга, основанная на действительных фактах, хорошо написана, в ней много информации из истории науки и культуры, что свидетельствует о широкой эрудиции автора. В книгу включены также стихи его сына, поэта и барда Алексея Гомазкова.

Небесный путеводитель

Н.Н.Взоров

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Москва

*Приезжай, поьем вина, закусим хлебом
Или сливами. Расскажешь мне известья.
Постелю тебе в саду под чистым небом
И скажу, как называются созвездья.*

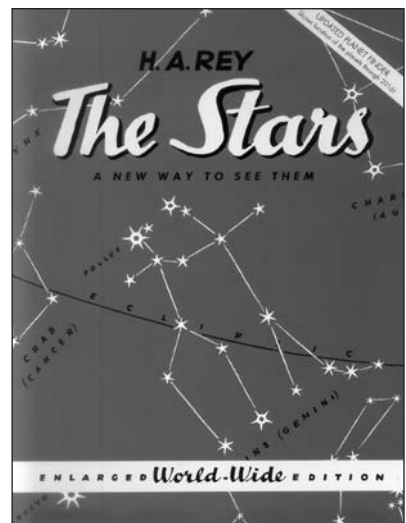
И.Бродский

В предисловии к замечательной книге Ганса Рея «Звезды»* редактор ее перевода Кронид Аркадьевич Любарский приводит восклицание Поля Гогена: «Жить в городе и не знать карты звездного неба — это уж слишком!», которое можно понимать и как сочувствие к жителям мегаполиса, и как упрек им. Но теперь слова Поля Гогена можно воспринимать и как страстный призыв к познанию звездного неба.

До появления в 1969 г. в русском переводе книги Рея для любознательного человека (не астронома-любителя) познание звездного неба было за семью печатями. Школьные знания о созвездиях обычно ограничивались ковшем Большой Медведицы, звездами Кассиопеи, образующими букву W, и Полярной звездой. И если даже вы попадали в благоприятные условия на юге, например на берег Черного моря, где небо само зывало к его познанию, а под рукой оказывался учебник по астрономии с картой звездного неба, знакомство с картой вызывало недоумение. Точнее, заводило в тупик, так как созвездия были показаны в виде сложных запутанных геометрических фигур, ни на что не похожих и ничего общего не имеющих с названием созвездий. Такие «иероглифы», лишённые смысла, почти невозможно запомнить и тем более проследить на небе, что запутывало и просто сбивало с толку.

Обилие литературы о звездах, в которой можно встретить произвольные геометрические изображения созвездий или красивые аллегорические рисунки, не оправдывали надежд научиться их узнавать. Рей фактически сделал открытие, увидев созвездия по-новому, в виде фигур, которые соответствуют своим очень выразительным названиям. Новые очертания старых созвездий остроумны и изобретательны, так что их легко запомнить и проследить на звездном небе. Линии, соединяющие звезды, проведены с таким расчетом, чтобы фигура соответствовала своему названию. Группа звезд, называемая Большой Медведицей, графически походит на очертания медведя, Кит — на кита, Орел — на орла, Лебедь — на лебедя. Перед нами два человечка, держащиеся за руки, — это созвездие Близнецов. Такой графикой автор пользуется на протяжении всей книги, и осмысленные фигуры глубоко укореняются в человеческом сознании. Верно сказано автором: «Зная формы созвездий, вы сможете узнать их на небе, даже если они не видны целиком, точно так, как в морозный день вы узнаете в толпе приятеля, хотя он надел шляпу и поднял воротник».

В первой части книги («Картинки на небе») Рей предлагает ориентироваться по Большой Медведице и найти Полярную звезду, очень важную из-за своего особого положения, которое не меняется на небе. Все остальные звезды и созвездия при этом совершают полный обо-



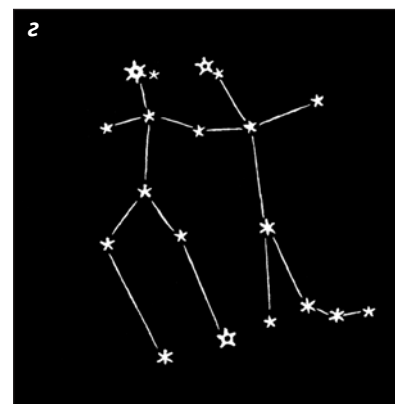
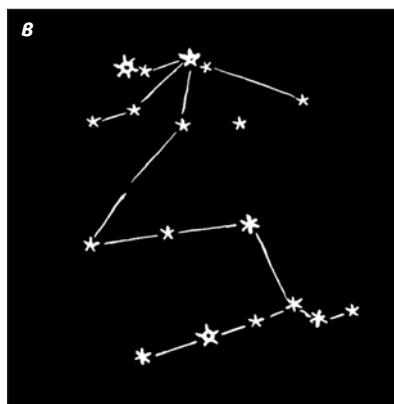
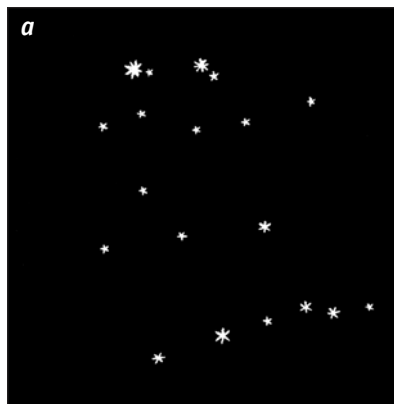
Американское издание книги Г.Рея.

рот вокруг Полярной звезды за одни сутки, что на самом деле связано с собственным вращением Земли, а не звездного неба. В самых важных последующих двух частях Рей знакомит читателей с каруселью созвездий. Во второй части («Познакомьтесь с созвездиями») перед взором читателя проходит великолепие самых известных из 88 существующих созвездий на 17 картах с комментариями к названиям звезд и созвездий, с любопытными сведениями о самих звездах. А третья часть («Звездное небо круглый год») состоит из 12 карт-календарей, с помощью которых можно найти то или иное созвездие в любой час ночи в любое время года. В последней, четвертой, части («Разные “отчего” и “почему”») даются популярные разъяснения, относящиеся к зо-

* Рей Г. Звезды. 1-е изд. М., 1969; 2-е изд. М., 2001.

диакальным созвездиям, планетам и специальным терминам. Там же приводятся таблицы видимости планет на фоне зодиакальных созвездий, говорящие о том, где искать планеты в начале каждого месяца, если бы вы захотели посмотреть на них невооруженным глазом или в простой телескоп. Но такие таблицы составляются лишь на 10 лет вперед. В этом издании книги они были рассчитаны на период с 1969 по 1978 г.

Если карты созвездий показывают, что искать на небе, а на вопросы, где и когда искать, отвечают карты-календари, то следует отправляться в путь. Астрономия принадлежит как миру науки, так и миру искусства. А небосвод отнюдь не только фон, на котором летают спутники и ракеты, это еще и источник неповторимых глубоких переживаний, эстетического наслаждения. Листая небесные страницы созвездий, прежде всего можно встретить созвездия с именами героев мифов Древней Греции. Среди них царица и царь Эфиопии Кассиопея и Цефей, а также их дочь Андромеда, принесенная в жертву родителями морскому чудовищу Кита, намеренному опустошить побережье Эфиопии. И тут же герой Персей — освободитель прикованной цепями к скале Андромеды, вместе с которой он уносится на крылатом коне Пегасе. У колена Андромеды виднеется бледное размытое пятно — это знаменитая туманность Андромеды, удаленная на расстояние около 2 млн световых лет и представляющая собой такую же галактику, как и наша, из сотен миллиардов солнц. Любопытный факт приводит автор, описывая одно из самых древних созвездий — созвездие Волопаса, напоминающее человека, который сидит и курит трубку. Свет Арктур — главной звезды созвездия — привел в действие фотоэлемент и открыл Международную ярмарку в Чикаго в 1934 г. Так с помощью одной

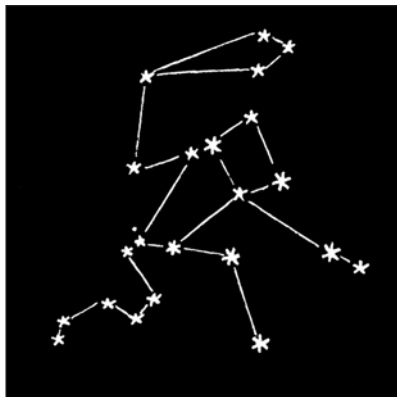
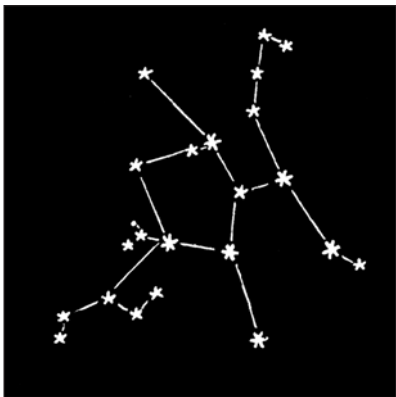


Близнецы: а — группа звезд, как они видны на небе; б — аллегорическое изображение; в — геометрическое изображение; з — графическое изображение по Рею.

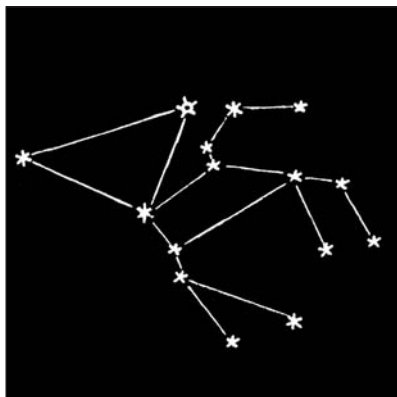
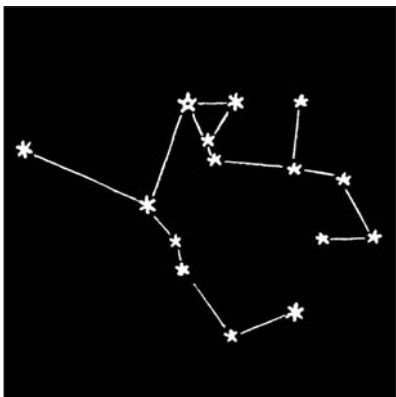
из ярчайших звезд на нашем небосводе демонстрировались достижения человеческой цивилизации. Путешествие по летнему небосводу обязательно приведет к большому Летнему Треугольнику, известному всем штурманам. Треугольник образован Альтаиром (из созвездия Орла), Денебом (из Лебеда) и Вегой (из Лиры). Альтаир — звезда 1-й величины очень красивого созвездия, напоминающего большую птицу, летящую к Лебедю. Часть созвездия Лебеда, состоящая из наиболее ярких звезд, известна под названием Северный Крест. Лебедь как бы летит вдоль Млечного Пути, вытянув шею и широко раскинув крылья, а сзади более слабые звезды образуют ноги. Самая яркая звезда Лебеда — бело-голубой Денеб — расположена в хвосте. Лира

же — похожее на двухструнную цитру маленькое, но важное созвездие: в нем находится пятая по яркости звезда всего неба — сверкающая бело-голубая Вега.

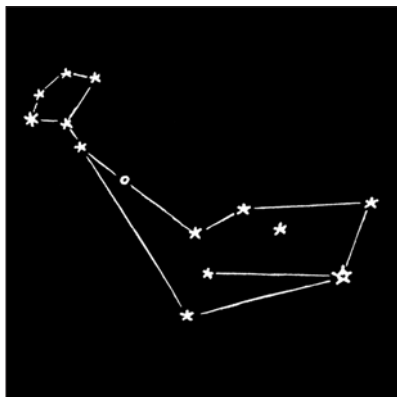
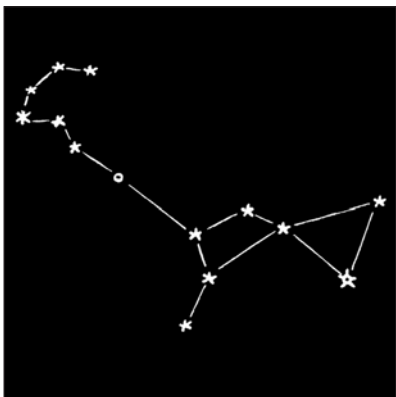
Благодаря небесному путешественнику Рея можно познакомиться и с самой красивой на нашем небе областью грандиозного созвездия Орион. С декабря по март Орион господствует над всей южной частью неба. Самая поразительная особенность этого созвездия — его пояс, три яркие звезды, расположенные на одной прямой. По ним легко найти все созвездие. Орион вооружен до зубов: в поднятой руке у него дубинка, а в другой — щит, с пояса свисает меч. Стольких ярких звезд нет ни в одном другом созвездии: две звезды 1-й величины (Бетельгейзе в левом плече и Ригель в правой ноге)



Геркулес по-старому и по-новому.



Перас по-старому и по-новому.



Кит по-старому и по-новому.

и пять — 2-й величины. Когда Орион высоко над горизонтом, в этой части неба видны семь звезд 1-й величины. И это звездное великолепие образует большой шестиугольник, в вершинах которого находятся: Капелла (из созвездия Возничего), Поллукс (из Близнецов), Прочион (из Малого Пса), Сириус (из

Большого Пса), Альдебаран (из Тельца), Ригель, а примерно в середине шестиугольника находится яркая Бетельгейзе. После выхода в свет книги Рея, или звездного букваря, как назвал ее Любарский, в отношении к звездному небу что-то стало меняться. Появились его карты с начертанием созвездий

по Рею. А в 1974 г. «Литературная газета» (№6) публикует подборку М.Карема «Звездные стихи» с рисунками Геркулеса и Близнецов по Рею. Переводчик бельгийского поэта, провозглашенного Принцем Поэзии, Никита Разговоров в своем комментарии пишет: «В конце шестидесятых годов американский астроном Г.Рей выпустил книгу “Новые очертания старых созвездий”... “Открытие” Рея имеет совершенно неожиданные последствия: оно приближает звезды к людям. Я не знаю, пользовался ли Морис Карем, создавая свою только что вышедшую книгу стихов “Небесный календарь”, картой Рея или старой, традиционной, но написанные им стихи о планетах и звездах тоже приближают к нам звездное небо... и наводят читателя на мысль о том, что поэзия и звездочетство отделены друг от друга отнюдь не астрономическим расстоянием. Но у поэтов и звезды начинают светить земным светом, вобравшим в себя и предания, и тревоги, и надежды людей».

И вот стихи «Лиры», посвященные созвездию:

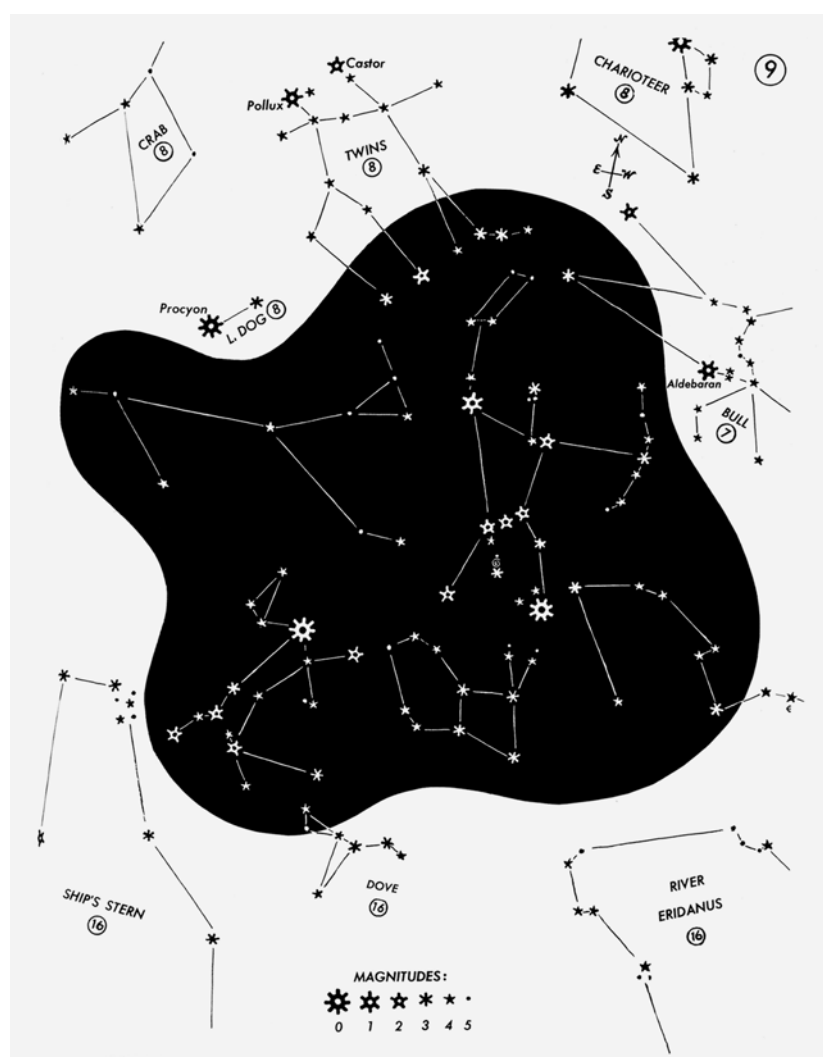
*Чтоб те певцы, которым миру
И людям нечего сказать,
На ней не вздумали брэнчать,
Решили боги эту Лиру
Повесить высоко... И ты
Почувствуешь, сколь мудро это,
Когда в молчанье темноты
На ней играют пальцы света.*

Здесь все замечательно точно, за исключением места в комментарии, где говорится о выпуске книги. Но разобраться в этих тонкостях автору сих строк удалось лишь в 2007 г. Задолго до этого в 1971 г. с книгой «Звезды» я оказался в восточном Крыму, в доме отдыха «Судак», расположенном на берегу Черного моря у подножья горы со старой Генуэзской крепостью. В то же время там отдыхал выдающийся советский физик Виктор Михайлович Галицкий (1924—1981). Днем на пляже я изучал карты созвездий

дий, а ясное небо и ранние августовские вечера предоставляли прекрасную возможность для их наблюдения. Однажды Виктор Михайлович обратил внимание на то, что я читаю. Проявляя осторожный скептицизм к популярной литературе, он взял у меня на вечер книгу. А утром мне рассказала его жена, что он почти до утра читал и периодически выбегал на балкон, чтобы непосредственно наблюдать созвездия. И в кинотеатре под открытым небом до начала сеанса, когда оказывались рядом, мы проверяли свои навыки в ориентации по звездам, находили созвездие Волопаса и звезду Арктур. Както позже, встретив меня в МИФИ, Виктор Михайлович, тогда заместитель главного редактора журнала «Природа», заговорил о возможности написать рецензию на книгу Рея. Но этого не произошло в связи с тем, что 17 января 1972 г. редактор и автор предисловия К.А.Любарский* был арестован (многие еще помнят недремлющее око цензуры).

И все же книга Г.Рея «Звезды» сыграла судьбоносную роль в моей жизни. Осенью 1974 г. мне позвонил Галицкий, предложив стать заведующим отделом физики в редакции журнала «Природа», и дал месяц на размышления. Так я на три года сменил преподавание в МИФИ на редакторскую работу в «Природе». Это были годы взаимодействия с замечательными людьми.

* Кронид Аркадьевич Любарский (1934—1996) — астрофизик, кандидат физико-математических наук, участник правозащитного движения в СССР. Был арестован по делу «Хроники текущих событий». Под давлением властей 14 октября 1977 г. покинул СССР и был лишен советского гражданства, а 2 июня 1992 г. российское гражданство ему было возвращено. Впоследствии он входил в состав Конституционного совещания и затем в Общественную палату при Президенте РФ.



Область созвездия Ориона (по Рею).

Летом 2007 г. я оказался на мысе Канаверал, в музее космонавтики, в отделе сувениров. Меня окружали стенды со значками, брелочками, кружками, распечатанными на космические темы, и более интересные сувениры, например космические одеяла. Но я вспомнил о книгах: есть ли они здесь? Стоило повернуться — и я оказался перед книжным стендом, где сразу увидел книгу: Н.А.РЕЙ «The Stars». Здесь меня ждали новые открытия. Во-первых, книга в Америке издавалась много раз: в 1952,

1962, 1967, 1970, 1975, 1976, 1980 и 2006 гг. В последнем издании таблицы видимости планет на фоне зодиакальных созвездий рассчитаны на период с 2007 по 2016 г. А во-вторых, и это, может быть, самое интересное: в последнем издании приводится письмо Эйнштейна автору книги: «Many thanks for your lucid and stimulating book. I hope it will find the interest it deserves» («Большое спасибо за вашу яркую и стимулирующую книгу. Я надеюсь, что она вызовет заслуженный интерес»).■

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желаящим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

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

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

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

Подписано в печать 15.12.2009
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 933
Набрано и сверстано в редакции

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

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.