

ПРИРОДА

1 13



В НОМЕРЕ:**3 Герштейн С.С.****Из прошлого в будущее**

Предисловие к статье о бозоне Хиггса

4 Высоцкий М.И.**К открытию бозона Хиггса**

Полгода назад на семинаре в ЦЕРНе было объявлено об открытии новой частицы. По своим свойствам она очень близка к бозону Хиггса — последней еще не обнаруженной фундаментальной частице Стандартной модели элементарных частиц, которую искали около сорока лет.

11 Беленицкая Г.А.**Природные соляно-нафтидные узлы**

Взаимоотношения солей и углеводородов составляет один из весьма важных теоретических и прикладных аспектов нефтяной геологии — ключевой для решения конкретных задач бурения и эксплуатации нефтегазоносных залежей.

24 Чугунов А.О., Полянский А.А., Ефремов Р.Г.**Физическая водобоязнь**

Гидрофобный эффект, который играет важную роль в сворачивании и правильной работе белков, формировании биомембран, распознавании молекулами друг друга и т.д., не сводится к «обычному» физическому взаимодействию, за ним стоят второе начало термодинамики и величина, именуемая энтропией.

35 Асланов Л.А.**Фотокристаллография**

На стыке фотоники и кристаллографии возникла новая ветвь науки — фотокристаллография, справляющая свой 15-летний юбилей. Она вызвана к жизни потребностью производства новых материалов для вычислительной техники будущих поколений (опто- и спин-электронных), люминофоров для дисплеев, светодиодов и т.д.

42 Корякин В.С.**Ледники Новой Земли в XX веке и глобальное потепление**

Наблюдения за сокращением ледников Новой Земли ведутся уже более 100 лет. Новейшие данные позволяют сделать вывод о замедлении этого процесса со второй половины XX в. после его максимума в 30–40-х годах.

49 Мельников И.А., Чернова Н.В.**Подледное скопление сайки в районе Северного полюса****Научные сообщения****54 Комаров В.Н., Рыбакова А.В., Чеботарева Я.И.****Структура ринхолитов — челюстей ископаемых головоногих****59 Космачевская Э.А., Громова Л.И.****Переводчики — коллеги И.П.Павлова****Резонанс****67 Ливанов К.Д.****Наука и шарлатаны
Шарлатанство ради денег****74 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ
2012 ГОДА****Бялко А.В., Медведев Э.С.****По физике —
С.Арош и Д.Вайнленд (74)****Колесников С.С.****По химии —
Р.Лефковиц и Б.Кобилка (78)****Шутова М.В., Киселев С.Л.****По физиологии или медицине —
Д.Гёрдон, С.Яманак (82)****Рецензии****87 Вибе Д.З.****Планеты далекие и близкие
(на кн.: Сурдин В.Г. Разведка далеких планет)****90****Новые книги****Встречи с забытым****92 Кузьмин А.В.****Из истории ранней
оптической астрономии**

CONTENTS:

- 3 Gershtein S.S.**
From the Past to the Future
 Introduction to Article about Higgs Boson

- 4 Vysotsky M.I.**
To Discovery of the Higgs Boson
Half a year ago at a seminar at CERN the discovery of a new particle was announced. Its properties were very close to those of the Higgs boson — the last yet unfound fundamental particle of the Standard model of elementary particles which was looked for about 40 years.

- 11 Belenitskaya G.A.**
Natural Salt-Naphthoid Structures
Relationships of salts and hydrocarbons comprises one of rather important theoretical and practical aspects of oil geology, a key for solving specific problems of drilling and operation of oil and gas formations.

- 24 Chugunov A.O., Polyansky A.A., Efremov R.G.**
Physical Hydrophobia
Water-repellent surfaces and shoe-protecting waxes, circles of oil floating above a broth, and water balls on lotus leaf — all these are examples of hydrophobic behavior of molecules which is biologically important in folding and proper functioning of proteins, forming of biomembranes, mutual recognition of molecules and so on.

- 35 Aslanov L.A.**
Photocrystallography
Photocrystallography is a new branch of science which arose on the frontier of photonics and crystallography and met its 15 anniversary. It was developed in order to construct new materials for future computers (opto- and spin-electronics), phosphors, LEDs and so on.

- 42 Koryakin V.S.**
Glaciers of Novaya Zemlya in 20 Century and Global Warming
Observations on contraction of Novaya Zemlya glaciers have been performed for more than 100 years. The most recent data allow to conclude that this process was slowing in second half of 20 century after reaching maximum speed in 1930–40.

- 49 Melnikov I.A., Chernova N.V.**
Arctic Cod under Ice Congestion near North Pole

Scientific Communications

- 54 Komarov V.N., Rybakova A.V., Chebotareva Ya.I.**
Structure of Rhyncholits — Jaws of Fossil Cephalopods

- 59 Kosmachevskaya E.A., Gromova L.I.**
Translators — Colleagues of I.P.Pavlov

Resonance

- 67 Livanov K.D.**
Science and Charlatans
 Quackery for Money

- 74 2012 NOBEL PRIZE WINNERS**
Byalko A.V., Medvedev E.S.
In Physics — S.Haroche and D.Wineland (74)

- Kolesnikov S.S.**
In Chemistry — R.Lefkowitz and B.Kobilka (78)

- Shutova M.V., Kiselev S.L.**
In Physiology or Medicine — D.Gurdon, S.Yamanaka (82)

Book Reviews

- 87 Wiebe D.Z.**
Planets Nearby and Far Away
 (on book: Surdin V.G. Reconnaissance of Exoplanets)

- 90** **New Books**

Encounters with Forgotten

- 92 Kuzmin A.V.**
From the History of Early Optical Astronomy

Из прошлого в будущее

Самого яркого «физического» события прошедшего года ученые ждали почти полвека. Еще в 1964–1966 гг. профессор П.Хиггс (P.W.Higgs) показал, что частицы со спином 1, соответствующие так называемым векторным калибровочным полям (источниками которых служат сохраняющиеся векторные токи), могут под действием некоторого скалярного поля приобретать массу (в случае локальной симметрии, которая диктуется условием сохранения зарядов, масса у них должна была отсутствовать). Этот вывод был принципиален, поскольку благодаря полю Хиггса возникал механизм, объясняющий появление массы у переносчиков слабых взаимодействий — векторных W^\pm - и Z -бозонов. В дальнейшем выяснилось: взаимодействие с полем Хиггса может также «генерировать» массы кварков и лептонов. Оказалось, что «спонтанное» нарушение симметрии, порождающее массы векторных бозонов, не нарушает так называемую перенормируемость электро-слабой теории и позволяет вычислять по теории возмущений слабые и радиационные поправки к основным процессам. Очень важно, что, согласно теории Хиггса, предложенному им гипотетическому скалярному полю должна была соответствовать реально наблюдаемая частица с нулевым спином — она и получила название бозона Хиггса.

Исторический парадокс состоит в том, что, несмотря на всю привлекательность теории Хиггса, ей вначале не уделялось должного внимания. Возможно, из-за предложений иных механизмов появления масс промежуточных бозонов, а также под грузом других нерешенных вопросов физики элементарных частиц.

Фундаментальное значение экспериментального поиска бозона Хиггса было сформулировано Л.Б.Окунем в заключительном докладе «Перспективы физики частиц, август 1981 года» на лептон-фотонной конференции в Бонне (ФРГ). Этому выступлению предшествовало несостоявшееся — на международной конференции по физике высоких энергий в Мэдисоне (США) в 1980 г., на которую Лев Борисович был приглашен в качестве заключительного докладчика, подводившего итоги конференции. Дело в том, что Окуню, получившему заранее приглашение от оргкомитета конференции и (как это требовалось в то время) разрешение от Госкомитета по атомной энергии на поездку с докладом, было по «непонятной» причине отказано в выезде одним из отделов ЦК КПСС. Не помогли ходатайства ни выдающихся физиков, ни членов самого Госкомитета, понимавших, что

отсутствие не по своей воле заключительного докладчика будет иметь характер скандала. И скандал действительно разразился, совпав по времени с возмущением мировой общественности ссылкой А.Д.Сахарова. Более тысячи участников конференции выразили протест советской стороне и решили не проводить в Москве международную конференцию, намеченную на 1984 г., лишив тем самым возможности принять в ней участие многих наших физиков (с трудом удалось добиться проведения конференции 1984 г. в стране социал-демократии — ГДР, в Лейпциге). Поняв свою оплошность, начальство уже просто обязало Льва Борисовича выступить на следующей лептон-фотонной конференции в Бонне.

Боннский доклад Окуня не утратил своей актуальности и в настоящее время, спустя 30 лет. Он опубликован в «Успехах физических наук» (2012. Т.182. №10. С.1026–1031). Наряду с необходимостью экспериментального поиска бозона Хиггса (открытие которого сейчас, после обнаружения промежуточных W^\pm - и Z -бозонов и исследования их свойств, служит последним решающим подтверждением справедливости единой теории электрослабых взаимодействий), Окунь указал на важность поиска других возможных «скаляров» — частиц с нулевым спином. По его мнению, их кропотливый поиск должен считаться проблемой №1 среди других нерешенных проблем физики элементарных частиц (например, невылетания кварков из адронов, Великого объединения сил и др.) и иметь высший приоритет на действующих и планируемых ускорителях (в частности, для проверки теории суперсимметрии).

«Будущее теоретической физики зависит от энергии и светимости этих установок», — писал Лев Борисович.

Этот тезис, несомненно, стимулировал создание адронного коллайдера LHC, основной задачей которого как раз и считался успешно завершившийся ныне поиск бозона Хиггса.

Следует отметить, что особенно перспективным для дальнейших исследований Окунь полагал создание линейного электрон-позитронного коллайдера, рассчитанного на очень высокие энергии. Именно такой проект в настоящее время интенсивно обсуждается в качестве международной установки ILC (Интернациональный линейный коллайдер).

© академик С.С.Герштейн
Институт физики высоких энергий
Протвино

К открытию бозона Хиггса

М.И.Высоцкий

4 июля 2012 г. на семинаре в ЦЕРНе было объявлено об открытии новой частицы, по своим свойствам очень близкой к бозону Хиггса — последней не обнаруженной до этого фундаментальной частицы, чье существование постулируется Стандартной моделью элементарных частиц. Бозон Хиггса — важнейший компонент этой модели, успешно описывающей ВСЕ известные на сегодняшний день свойства частиц. Поэтому сначала напомним, как она устроена.



Михаил Иосифович Высоцкий, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории теории элементарных частиц Института теоретической и экспериментальной физики им.А.И.Алиханова, профессор Новосибирского государственного университета. Область научных интересов — физика элементарных частиц и квантовая теория поля.

Элементарные ≠ фундаментальные

Физика элементарных частиц изучает мельчайшие составляющие, из которых складывается все многообразие окружающего мира. При этом, естественно, то, что считается «мельчайшим», меняется со временем, «мельчая» по мере все более детальных исследований. В сборнике «Обзор физики частиц» [1], новое издание которого выходит каждые два года, подробно описаны свойства нескольких сотен элементарных частиц. В основном это сильно взаимодействующие частицы, такие как протон, нейтрон и т.д., называемые еще адронами. Название «элементарные» за ними закрепилось исторически, но теперь мы знаем, что на самом деле они составные. Согласно Стандартной модели, адроны состоят из кварков и глюонов, которые

и являются фундаментальными, т.е. по-настоящему мельчайшими частицами, подлинными кирпичиками мироздания. Сами по себе, по отдельности, кварки в окружающем нас мире не встречаются, существуя лишь в составе адронов, что в какой-то мере оправдывает название «элементарные» для последних. Все фундаментальные частицы приведены на рис.1. Перечислим их. Это шесть кварков: u (up), c (charm), t (top), d (down), s (strange), b (beauty), и, судя по названиям некоторых из них, физикам не чужда романтика. Шесть лептонов: заряженные — e (электрон), μ (мюон), τ (тау) и нейтральные — ν_1, ν_2, ν_3 (нейтрино). В четвертой колонке находятся переносчики взаимодействий: электромагнитного — фотон γ , слабого взаимодействия — W^\pm - и Z -бозоны, сильного взаимодействия — глюоны g . Всего существует восемь глюонов. Каждый кварк может находиться в одном из трех цветовых состояний. Это утроение числа кварков, так же, как и привлечение восьмерки глюонов, требуется для описания сильных взаимодействий. Свойства всех фундаментальных частиц, приведенных на рис.1, подробно описаны в [1]. Всех, кроме стоящего отдельно бозона Хиггса H .

Важнейшие свойства элементарных частиц — их массы и так называемые спины. Спин — понятие из квантовой механики, не имеющее классического аналога. Тем не менее, грубо можно представить

| | | | | |
|---------|---------|---------|----------|-----|
| u | c | t | γ | |
| d | s | b | W | |
| | | | | H |
| e | μ | τ | Z | |
| ν_1 | ν_2 | ν_3 | g | |

Рис.1. Фундаментальные частицы Стандартной модели.

себе элементарные частицы как вращающиеся во круг своей оси шарики. Тогда спин равен угловому моменту вращения, и он квантуется (принимает дискретные значения), будучи равным $s\hbar$, $s = 0, 1/2, 1, 3/2, \dots$, где $\hbar \approx 1.054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с — постоянная Планка. Каждая элементарная частица характеризуется своим спином; меняться спин не может. При стремлении постоянной Планка к нулю квантовая механика переходит в классическую и спины обнуляются, в отличие от орбитальных угловых моментов, также квантуемых в единицах \hbar . Частица может иметь произвольный орбитальный момент $L\hbar$, и при переходе к классической механике ($\hbar \rightarrow 0$), устремляя L к бесконечности, мы получим вращающееся с произвольным угловым моментом тело. Орбитальное квантовое число L всегда целое: $L = 0, 1, 2, \dots$ в отличие от спина s (не путать с обозначением странного кварка), который может быть как целым, так и полуцелым.

Столь подробное описание понятия спина необходимо здесь потому, что именно спин отличает хиггсовский бозон от других фундаментальных частиц, представленных на рис.1. Кварки и лептоны имеют спин $1/2$. Два одинаковых лептона или кварка не могут находиться в одном состоянии. В случае электронов это их свойство объясняет структуру атомных оболочек. «Не могут уживаться в одной квартире» все одинаковые частицы с полуцелым спином, получившие название «фермионы» (Энрико Ферми и Поль Дирак первыми проанализировали свойства ансамблей тождественных частиц с полуцелым спином).

Частицы, имеющие целый спин, наоборот, любят накапливаться в одном состоянии и называются бозонами (их коллективные свойства, в том числе способность конденсироваться, первыми изучили Шатъендранат Бозе и Альберт Эйнштейн). Фотон (γ), W , Z и g имеют спин, равный единице. Наконец, бозон (названный так, поскольку он подчиняется статистике Бозе—Эйнштейна) Хиггса имеет спин ноль.

Надо еще оговориться, что на рис.1 отсутствует одна фундаментальная частица — гравитон h , имеющий спин 2. В эксперименте гравитон не обнаружен, что объясняется чрезвычайной слабостью гравитационного взаимодействия. Тем не менее, его существование непосредственно следует из общей теории относительности.

Эффект Хиггса

Поговорим теперь о массах фундаментальных частиц. В отличие от спинов, имеющих лишь несколько дискретных значений (у фундаментальных частиц — четыре: ноль, половина, один и два), масса у каждой приведенной на рис.1 частицы своя, и по ее значению сразу можно понять, о какой частице идет речь. Но есть одно выделенное значение: масса, равная нулю. Масса фотона

равна нулю. Безмассовые частицы всегда движутся с максимально возможной скоростью, которая и называется скоростью света (или скоростью фотона). Также безмассовыми являются глюоны, входящие в состав массивных адронов, но самостоятельно (вне адронов) глюоны, как и кварки, не существуют и не движутся.

Безмассовость фотона обеспечена имеющейся в теории симметрией, приводящей также к сохранению электромагнитного тока. (Эта симметрия сводится к инвариантности уравнений по отношению к изменению фаз волновых функций заряженных частиц.) В первой половине 50-х годов Чженьнином Янгом и Робертом Миллсом были построены теории, обладающие аналогичными симметриями, но имеющие несколько безмассовых векторных частиц (так называются обладатели единичного спина), взаимодействующих друг с другом. Применению этих красивых теорий к описанию элементарных частиц мешала безмассовость векторных частиц, ведь ничего другого без массы, но со спином один, кроме фотона, не было известно*. Эту трудность как раз и разрешили три работы, опубликованные в одном и том же томе «Physical Review Letters» в 1964 г. Робертом Браутом и Франсуа Энглертом [2], Питером Хиггсом [3] и Джеральдом Гуральником, Томом Кибблом и Карлом Хагеном [4]. Они разорвали порочную связку: математически красивые симметричные теории Янга—Миллса \leftrightarrow безмассовые векторные частицы. Разорвать ее позволило то, что сейчас называется эффектом Хиггса. В этих работах к безмассовым векторным частицам добавлялись скалярные (частицы со спином ноль называются скалярными; они не меняются при поворотах системы координат — их можно уподобить невращающимся шарикам). Это делалось таким образом, что состояние с наименьшей энергией (вакуумное состояние) представляло собой эквивалент некой среды, распространяясь в которой, векторные частицы набирают массу. Итак, симметрия не требует наличия безмассовых векторных частиц, если вакуум видоизменен скалярным полем. Роль такого вакуума двойка: во-первых, векторные бозоны приобретают ненулевую массу, а во-вторых, вакуум обзаводится рябью, «бегущей» по нему. Это и есть новая элементарная частица — бозон Хиггса, имеющий спин ноль.

Конечно, эта конструкция возникла не на пустом месте, имела интересную предысторию. Первым с аналогичным явлением столкнулся в 1961 г. Джулиан Швингер, изучавший электродинамику в двумерном пространстве-времени в присутствии безмассовых электронов. В аннотации статьи [5] подчеркивается: симметрия такой электродина-

* Заметим, что примерно через 20 лет такая теория оказалась востребованной, и сейчас это входящая в Стандартную модель теория сильных взаимодействий кварков и безмассовых глюонов, «запертых» в массивных адронах.

мики не препятствует тому, что векторная частица оказывается массивной (собственно векторной частицы в двумерии нет, и лучше говорить о замене одномерного пространственного кулоновского потенциала $V(x) = g|x|$ юкавским $V(x) = \exp(-g|x|)$). Затем в 1963 г. Филип Андерсон указал, что обсуждаемый Швингером феномен имеет место в плазме и в сверхпроводнике [6]. Теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау 1950 года объясняет выталкивание магнитного поля из сверхпроводника (эффект Мейснера) выпадением в конденсат в толще вещества скалярного поля, взаимодействие с которым делает фотон массивным [7].

Несмотря на такой солидный список предшественников (сплошь нобелевских лауреатов, причем Виталий Лазаревич Гинзбург — именно за эту работу), в статьях 1964 года сделан существенный шаг вперед: рассматривается реалистическое четырехмерное пространство-время, и обсуждаются свойства физического вакуума, а не плазмы или сверхпроводника. Подчеркнем также, что хиггсовский бозон появился только в 1964 г.

От модели к теории

Генерацию масс векторных частиц с помощью механизма Хиггса использовал в 1967 г. Стивен Вайнберг [8]. Она пригодилась для построения модели слабых взаимодействий лептонов, в которой для поддержания исходной симметрии теории масса заряженных лептонов также возникала благодаря их взаимодействию с бозоном Хиггса. Годом позже Абдус Салам [9] отметил, что такая модель должна быть перенормируемой (это означает, что вероятности различных процессов могут быть выражены через небольшое количество «входных» параметров, скажем, через заряды и массу W - или Z -бозона). Только в перенормируемых теориях можно с очень высокой точностью предсказывать различные свойства частиц. Вскоре гипотеза о перенормируемости электрослабой теории была доказана, и сейчас эта теория и теория сильных взаимодействий кварков и глюонов объединены в Стандартную модель физики элементарных частиц. И именно в электрослабой теории рассмотренные в 1964 г. модели описывают реальные свойства частиц.

Итак, к концу 60-х годов были сформулированы несколько моделей электрослабых взаимодействий с хиггсовским механизмом генерации масс частиц, различающихся составом фундаментальных частиц. Немедленно начались интенсивные экспериментальные исследования — важно было понять, какая конкретно модель реализуется в природе. В 1973 г. на пузырьковой камере «Гаргамель» в ЦЕРНе были обнаружены слабые нейтральные токи: события, в которых нейтрино разваливает адрон, не превращаясь при этом в заряженный лептон, а оставаясь невидимым в детекторе

нейтрино (в случае заряженных токов в аналогичных событиях рождается заряженный мюон, который легко детектируется). Именно такие события должны были наблюдаться в модели Вайнберга, где наряду с заряженными векторными W^\pm -бозонами вводится нейтральный векторный Z -бозон. К концу 70-х годов большая совокупность различных экспериментальных данных подтвердила справедливость электрослабой модели Глэшоу—Вайнберга—Салама. (Шелдон Глэшоу в начале 60-х годов занимался аналогичной моделью [10].) Но все это были косвенные подтверждения; для прямой проверки модели необходимо было непосредственно обнаружить в эксперименте бозоны W^\pm , Z и H — бозон Хиггса. Для чего было желательно знать массы этих частиц. По косвенным данным (по величине нейтральных токов) было установлено, что с точностью в несколько гигаэлектронвольт масса W -бозона должна равняться 80 ГэВ, а масса Z -бозона — 90 ГэВ (напомним, что протон и нейтрон весят около 940 МэВ).

Стало понятно, что W и Z — очень тяжелые элементарные частицы, ведь массы других известных к тому времени частиц не превышали 10 ГэВ. Для рождения подобных «гигантов» требовался ускоритель на рекордную для того времени энергию. Такой ускоритель, протон-антипротонный коллайдер* на суммарную энергию 200 ГэВ + 200 ГэВ, был построен в ЦЕРНе, и W - и Z -бозоны с предсказанными значениями масс были открыты на нем в 1983 г. Это привело к почетному переименованию «электрослабой модели» в «электрослабую теорию», но существенный элемент этой теории — бозон Хиггса — все еще ждал своего открытия. Дело в том, что его масса, в отличие от масс W и Z , в теории не предсказывается. Имелось лишь верхнее ограничение: $M_H < 1$ ТэВ (здесь и далее M и m — массы частиц). Так как нижнего ограничения практически нет, физики надеялись, что H будет достаточно легким. Его искали и не нашли в распадах K -мезонов, масса которых близка к 500 МэВ. Затем — в распадах Y -мезона с массой ≈ 10 ГэВ, и опять с отрицательным результатом. Искали и в прямом рождении на существовавших ускорителях. Наконец, в 1989 г. начали работать e^+e^- -коллайдеры SLC в Стэнфордской национальной ускорительной лаборатории (США) и LEP1 в ЦЕРНе на суммарную энергию 90 ГэВ. На этих ускорителях хиггс должен был рождаться в распадах Z -бозона, и отсутствие этого процесса подняло нижнюю границу его возможной массы до 60 ГэВ.

Здесь уместно сказать, что делает бозон Хиггса необыкновенной частицей. Его взаимодействие с другими фундаментальными частицами тем сильнее, чем последние тяжелее, и это свойство обусловлено именно тем, что их масса возникает за счет хиггсовского механизма. Так что на самом де-

* Коллайдерами называются ускорители, в которых сталкиваются пучки элементарных частиц.

ле порядок обратный: чем сильнее частица взаимодействует с хиггсом, тем больше ее масса, как у W и Z . Не взаимодействует — массы нет, как у фотона. Именно поэтому в цепочке реакций $e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow HZ^*$ бозон Хиггса должен рождаться интенсивно. В 1995 г. энергия e^+e^- -коллайдера в ЦЕРНе была удвоена, в том числе и с целью найти бозон Хиггса. К 2000 г. она была доведена до 210 ГэВ. Вычитая массу Z -бозона, мы видим, что максимально возможная масса H , который мог возникнуть на ускорителе LEP II, равнялась 120 ГэВ. Но на пороге вероятность рождения равна нулю, поэтому реально полученное ограничение составило $M_H > 115$ ГэВ. Наряду с этим нижним пределом, данные с ускорителей SLC, LEP и протон-антипротонного коллайдера «Тэватрон» (США) позволили предсказать величину массы Хиггса. Предсказания для масс электрослабых бозонов W и Z и вероятностей их распадов делаются благодаря перенормируемости электрослабой теории. Эти оценки зависят от масс частиц, изображенных на рис.1. К началу работы e^+e^- -коллайдеров были неизвестны массы t -кварка и бозона Хиггса (массы нейтрино неизвестны и сейчас, однако обсуждаемые величины в связи с легкостью нейтрино получают поправки порядка $(m_\nu/M_{W,Z})^2 \sim 10^{-22}$, чем можно пренебречь). Открытие в 1994—1995 гг. t -кварка на «Тэватроне» (кстати, t -кварк тяжелее всех элементарных частиц, $m_t \approx 172$ ГэВ) оставило неизвестным один параметр — M_H . Из сравнения экспериментальных данных по W - и Z -бозонам с теоретическими формулами было найдено: $M_H = 90 \pm 30$ ГэВ. Центральное значение $M_H = 90$ ГэВ исключено прямыми поисками на LEP II, но отклонение на одну-две ошибки вполне допустимо*. Отсюда возникало верхнее ограничение: $M_H < 160$ ГэВ.

В игру вступает LHC

Следующий ускоритель был спланирован так, чтобы наверняка обнаружить бозон Хиггса, т.е. перекрыть все возможные значения его массы. Большой адронный коллайдер ЦЕРН (БАК, или LHC — Large Hadron Collider) начали монтировать в туннеле LEP, когда стало ясно, что на LEP II найти хиггс не удастся. Это протон-протонный (pp) коллайдер с суммарной энергией $7 \text{ ТэВ} + 7 \text{ ТэВ} = 14 \text{ ТэВ}$ в системе центра масс сталкивающихся протонов. Вскоре после его запуска в 2009 г. произошла авария, после чего с осени 2010 г. он заработал на половинной энергии $3.5 \text{ ТэВ} + 3.5 \text{ ТэВ} = 7 \text{ ТэВ}$, и в конце 2011 г. было объявлено, что в районе 120—130 ГэВ наблюдается незначительный избыток событий, который может свидетельствовать о рождении H .

* По определению термина «экспериментальная ошибка», около 35% результатов измерений отклоняются от центрального значения на одну ошибку или более, а около 5% — на две или более.

Вероятность рождения H с такой массой достаточно велика, и основная проблема — выделение его из фона. В отличие от электрон-позитронных, pp -коллайдер — «грязная» машина, в сильных взаимодействиях с большими вероятностями рождается много различных частиц, и в них сигнал бозона Хиггса «тонет». В 2012 г. энергия LHC была повышена до $4 \text{ ТэВ} + 4 \text{ ТэВ} = 8 \text{ ТэВ}$, что увеличивало количество рождаемых бозонов Хиггса примерно на 30%, если его масса действительно находится в интервале 120—130 ГэВ. И вот на семинаре 4 июля в ЦЕРНе были объявлены результаты новых измерений. В этот день на другом конце земли, в Мельбурне, открывалась самая крупная международная конференция по физике высоких энергий, происходящая раз в два года. И утренний семинар из Женеви транслировался в зал заседаний конференции, участники которой смотрели его вечером по австралийскому времени. За несколько дней до семинара было объявлено, что на него приглашены авторы работ 1964 г., поэтому стало понятно, что бозон Хиггса наконец обнаружен.

На ускорителе LHC стоят два детектора ATLAS и CMS (рис.2), которые могут обнаружить H по продуктам его распада (сам отлет от точки рождения увидеть нельзя, так как H живет слишком мало, примерно 10^{-22} с). Это гигантские, очень дорогие установки, стоимость которых сравнима со стоимостью ускорителя. Но такое дублирование — не напрасная трата денег. Во-первых, когда оба эксперимента объявили об открытии H с близкими массами и вероятностями одних и тех же процессов, мы можем быть уверены, что речь не идет о систематической ошибке (детекторы различаются в деталях, их данные обрабатываются разными программами и т.д.). А во-вторых, возникает полезная конкуренция, заставляющая экспериментаторов работать на пределе возможностей, с тем чтобы данные их детектора были обработаны не позже (а лучше раньше), чем данные соперников.

Обе коллаборации при анализе данных 2012 года ограничились двумя наиболее чувствительными каналами распада: $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$, где l — заряженный лептон. Распад хиггса на два фотона происходит сравнительно редко, так распадается одна из примерно 500 частиц. Однако его проявление очень яркое: пик в инвариантной массе двух фотонов**.

На рисунке 3 приведены данные коллаборации CMS по распаду хиггса на два фотона [11]. Усиление сигнала по сравнению с плавным фоном, увеличение на врезке вверху справа, — «отпечатки пальцев» бозона Хиггса. Распад хиггса на два Z -бозона запрещен кинематически; чтобы он происхо-

** Определяемая по энергиям и импульсам продуктов распада инвариантная масса равна массе распавшейся частицы. Инвариантной она называется потому, что не зависит от того, двигалась или покоилась до распада исходная частица.

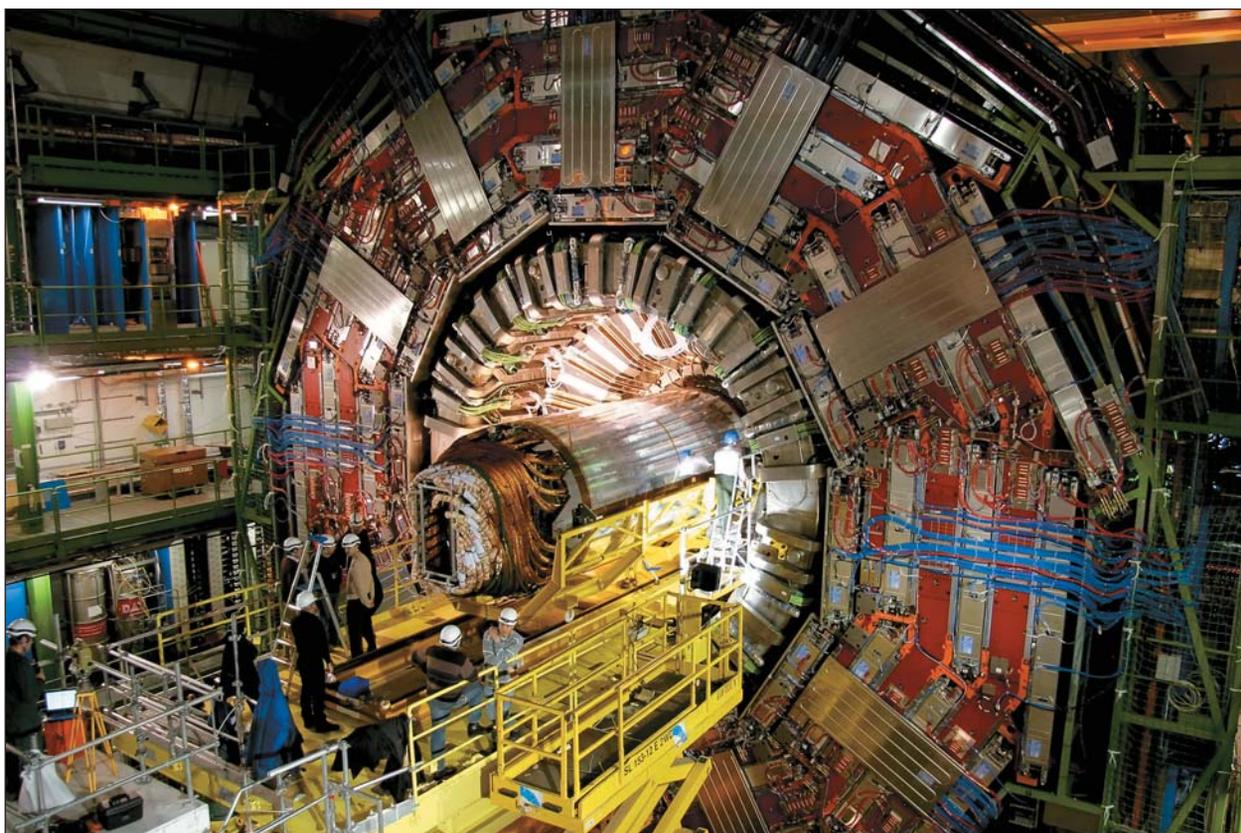
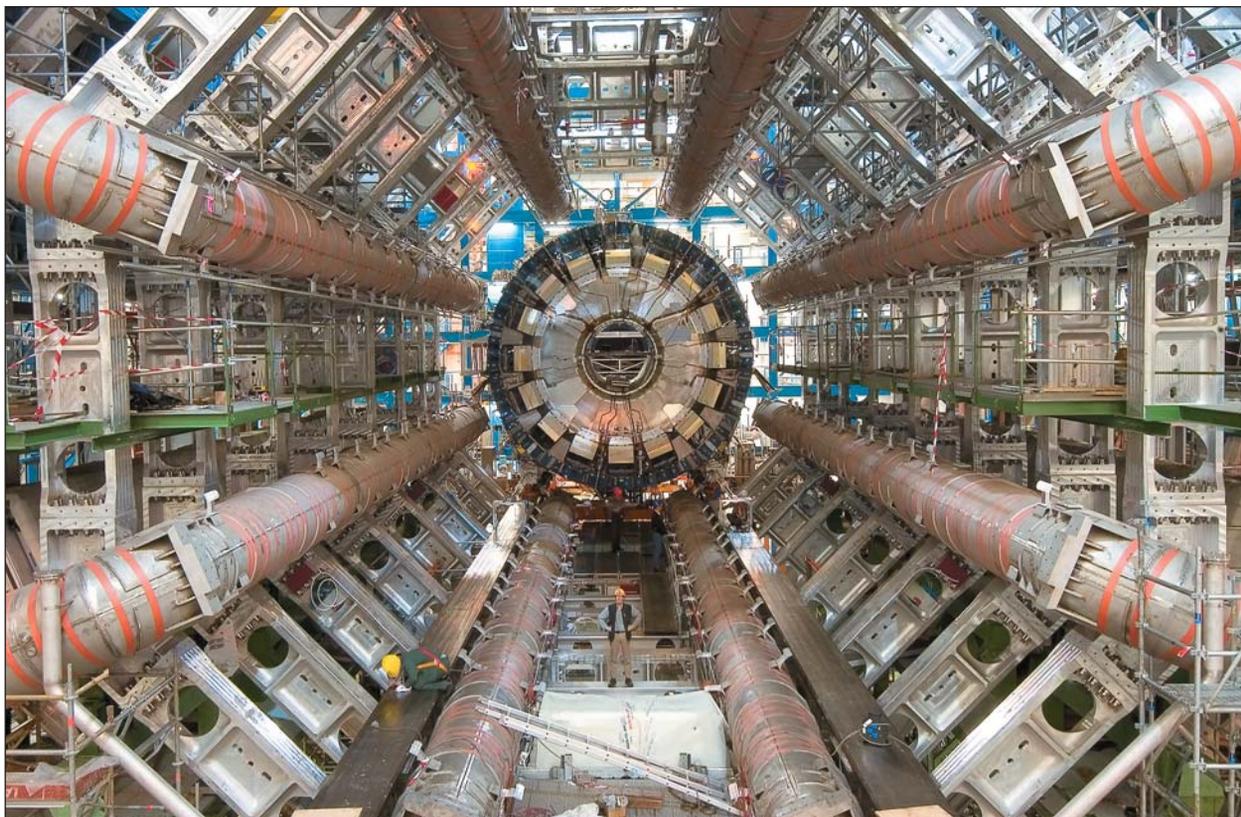


Рис.2. Детекторы ATLAS (сверху) и CMS в процессе монтажа.

Фото из архива ЦЕРНа

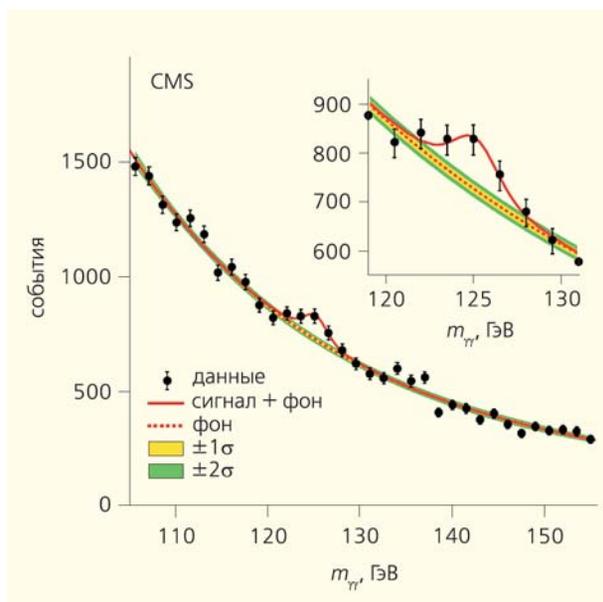


Рис.3. Зависимость числа событий от инвариантной массы двух фотонов согласно данным коллаборации CMS. Пик над гладким фоном в районе 125 ГэВ показан в увеличенном виде на врезке справа сверху.

дил, должно выполняться неравенство $M_H > 2M_Z = 180$ ГэВ. Однако он может идти, если один Z-бозон виртуальный, т.е. в силу соотношения неопределенности $\Delta E \Delta t \geq 1$ требование $M_H > 2M_Z$ может на короткое время нарушиться, и бозон Хиггса за это время успеет распасться. Виртуальные частицы обозначаются звездочкой; Z^* — виртуальный Z-бозон. Каждый из Z-бозонов распадается на пару заряженных лептонов, и экспериментаторы смотрят на зависимость числа событий от инвариантной массы этих четырех частиц: $4e$, 4μ или $2e2\mu$.

Рисунок 4 изображает результаты коллаборации ATLAS по поиску распада хиггса на четыре заряженных лептона [12]; виден пик в районе 125 ГэВ. Наконец, на рис.5 [12] показана вероятность того, что, несмотря на полученные данные, бозона Хиггса в эксперименте ATLAS не видят, в зависимости от массы H . Видно, что эта вероятность близка к единице всюду, кроме узкого провала вблизи 126 ГэВ, где она достигает 10^{-9} , т.е. одной миллиардной. Это позволяет утверждать, что новая частица обнаружена. Ее масса, согласно данным ATLAS, равна 126 ГэВ, согласно данным CMS, она равна 125.5 ГэВ; неопределенность в массе близка к 1 ГэВ, т.е. результаты обеих коллабораций согласуются.

Является ли эта частица бозоном Хиггса Стандартной модели? Так как она распадается на два бозона (2γ и $2Z$), то это бозон, т.е. ее спин имеет целое значение. Развивая физику позитрония, Лев Давидович Ландау в 1949 г. доказал, что суммарный спин двух фотонов не может быть равен единице, поэтому спин новой частицы может прини-

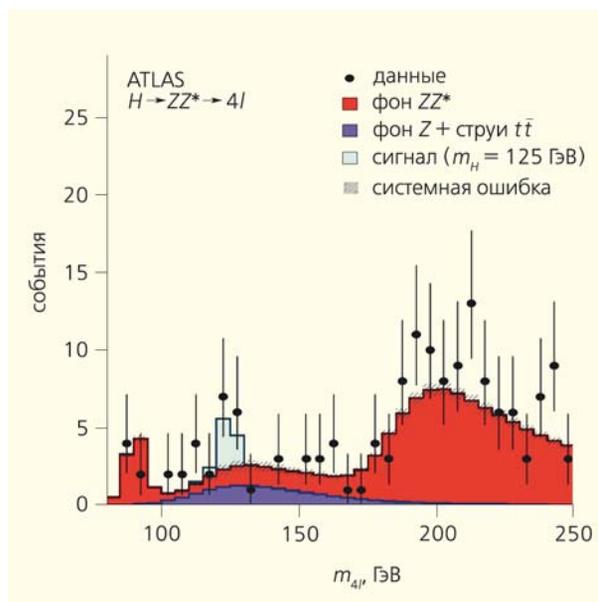


Рис.4. Зависимость числа событий от инвариантной массы четырех заряженных лептонов согласно данным коллаборации ATLAS. Сигнал виден в районе 125 ГэВ; при других массах данные согласуются с фоном (под фоном имеются в виду известные источники четырех лептонов, не связанные с рождением новой частицы).

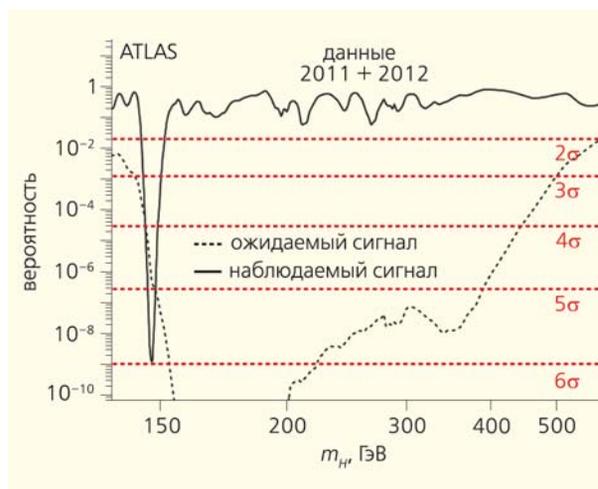


Рис.5. Сплошной кривой показана вероятность того, что фоновые процессы описывают экспериментальные данные. Эта вероятность близка к единице всюду, кроме узкого провала вблизи 125 ГэВ, где вероятность падает до одного из 600 млн. Данные коллаборации ATLAS.

мать значения 0, 2, 3, ... Согласно теории, бозон Хиггса должен иметь нулевой спин. Окончательный ответ должны дать новые экспериментальные данные. К началу 2013 г. статистика ATLAS и CMS должна утроиться, что позволит с большей точностью определить, совпадают ли относительные вероятности распадов по различным каналам

с предсказаниями Стандартной модели для бозона Хиггса. По значимости результата описанные исследования — теоретические и экспериментальные — вполне на уровне Нобелевской премии, однако они суть продукт коллективного научного творчества, и выделить то ограниченное число участников, которых может осчастливить Нобелевский комитет, практически невозможно...

Заглядывая вперед

В течение 2013 и 2014 гг. будет проведена проверка и модернизация ЛНС, которая обеспечит его работу на полной энергии 14 ТэВ. Возможно, это позволит найти новые тяжелые частицы, и мы узнаем, что находится за рамками Стандартной модели. Что касается бозона Хиггса, здесь основные надежды в рамках ЛНС связаны с существенным увеличением числа pp -столкновений, планируемыми после очередной остановки коллайдера в 2018 г. Кроме того, обсуждается строительство специальной «фабрики хиггсов» — e^+e^- -коллайдера на энергию 250 ГэВ, где бозоны Хиггса будут в большом количестве рождаться в реакции $e^+e^- \rightarrow Z^* \rightarrow ZH$. Если этот коллайдер будет линейным (до сих пор все ускорители на высокие энергии были кольцевыми), то в будущем, увеличивая его длину, можно будет

исследовать и более тяжелые частицы, если таковые существуют.

Чем же так притягательны эти эксперименты? Дело в том, что, несмотря на замечательную способность Стандартной модели уже в течение 40 лет описывать ВСЕ наблюдаемые свойства элементарных частиц, вряд ли ею исчерпывается устройство микромира. Эту теорию трудно назвать совершенной: в основное выражение (лагранжиан) входит более 20 фундаментальных параметров, на рис.1 слишком много фундаментальных частиц. На неполноту Стандартной модели указывает космология: согласно наблюдениям, плотность темной материи в космосе примерно в пять раз больше плотности видимой материи, а в Стандартной модели нет частиц, которые могли бы составлять темную материю (массы нейтральных и слабо взаимодействующих нейтрино слишком малы; при температурах порядка одного электронвольта темная материя должна быть нерелятивистской).

Итак, с разумной степенью осторожности можно надеяться, что выход ЛНС на полную энергию и/или строительство новых ускорителей на еще большую энергию позволит сделать следующий шаг и выйти за рамки Стандартной модели, скорее всего, завершённой с открытием бозона Хиггса на ЛНС в 2012 г. ■

Литература

1. Review of Particle Physics // Physical Review D. 2012. V.86. P.010001—011526.
2. *Englert F., Brout R.* Broken symmetry and the mass of gauge vector mesons // Phys. Rev. Lett. 1964. V.13. P.321—323.
3. *Higgs P.* Broken symmetries and the masses of gauge vector bosons // Phys. Rev. Lett. 1964. V.13. P.508—509.
4. *Guralnik G., Hagen C.R., Kibble T.W.B.* Global conservation laws and massless particles // Phys. Rev. Lett. 1964. V.13. P.585—587.
5. *Schwinger J.* Gauge invariance and mass // Phys. Rev. 1962. V.128. P.2425—2429.
6. *Anderson P.* Plasmons, gauge invariance and mass // Physical Review. 1963. V.130. P.439—442.
7. *Гинзбург ВЛ., Ландау ЛД.* К теории сверхпроводимости // ЖЭТФ. 1950. Т.20. P.1064—1075.
8. *Weinberg S.* Theory of leptons // Physical Review Letters. 1967. V.19. P.1264—1266.
9. *Salam A.* Weak and electromagnetic interactions // Eighth Nobel Symposium / Ed. N.Svartholm. 1968. P.367—387.
10. *Glashow S.L.* Partial symmetries of weak interactions // Nuclear Physics. 1961. V.22. P.579—588.
11. Inside story: the search in CMS for the Higgs boson // CERN Courier. 2012. V.52. №7. P.49—50.
12. Discovery of a new boson — the ATLAS perspective // CERN Courier. 2012. V.52. №7. P.43—44.

Природные соляно-нафтидные узлы

Г.А.Беленицкая

Соль и нефть

Соль Земли и ее «черная кровь»... Само сочетание этих столь знакомых и часто повторяемых слов будоражит воображение, вызывая множество ассоциаций. И соли, и углеводороды привлекают все большее внимание специалистов всего мира. Причин много. Об углеводородах говорить не приходится. В последние годы они по сути стали чуть ли не главными символами богатства любой страны. Но и соли Земли вполне отвечают столь гордому звучанию. Проблема же взаимоотношения солей и углеводородов составляет один из весьма важных теоретических и прикладных аспектов нефтяной геологии — ключевых как для фундаментальных вопросов нефтидогенеза*, так и для решения конкретных задач бурения и эксплуатации нефтегазоносных залежей. Частое сонахождение солей и углеводородов, их пространственные взаимосвязи общеизвестны и проанализированы во многих работах, [1—9]. Для нефтяников же наличие солей — один из основных ориентиров при проведении любых видов поисковых работ и на любых их стадиях.

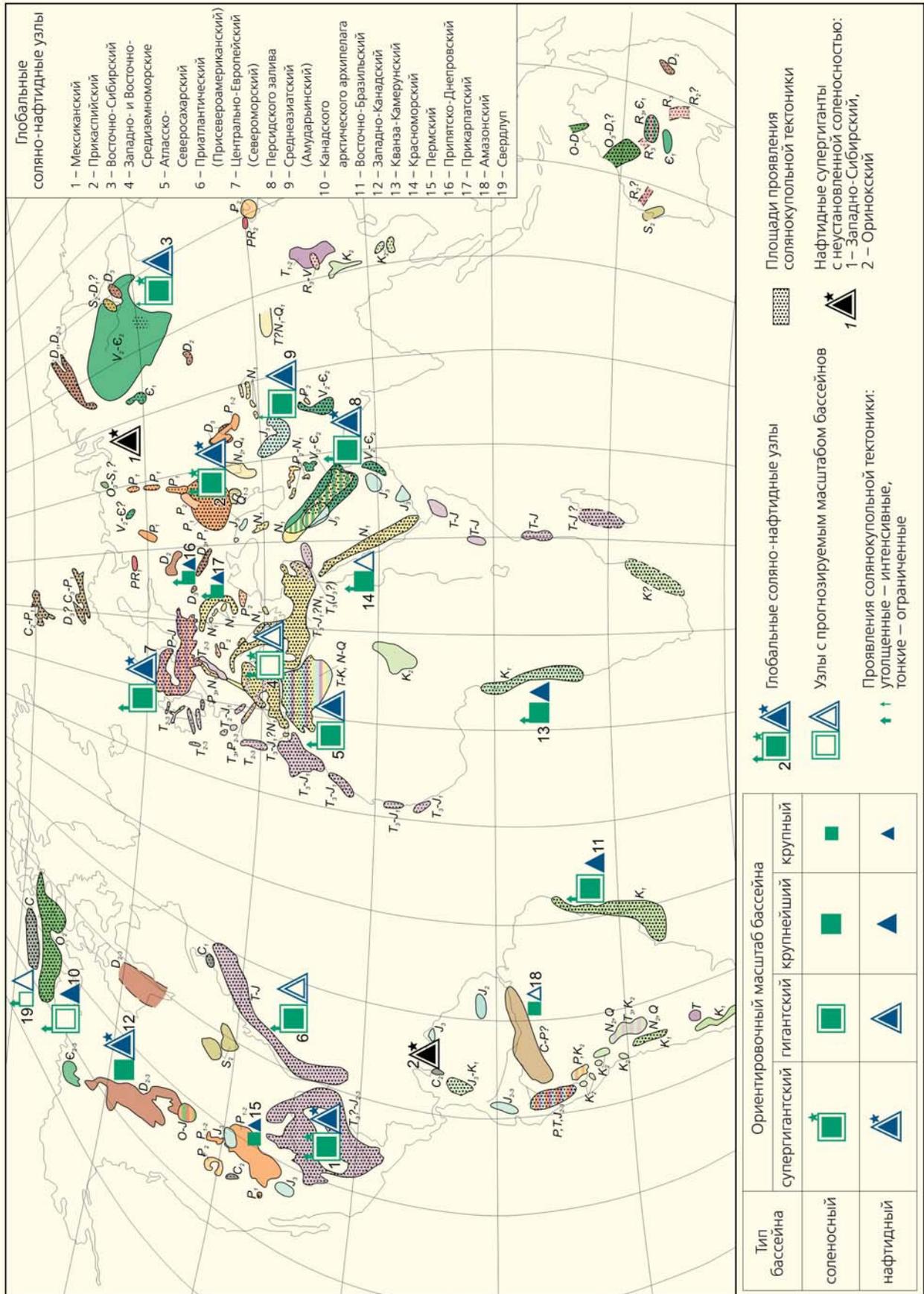
* Нафтиды — обобщающий термин, включающий углеводороды в газовом, жидком, полутвердом и твердом состояниях или в виде смеси этих фаз.



Галина Александровна Беленицкая, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник отдела литогейодинамики и минерации осадочных бассейнов Всероссийского научно-исследовательского геологического института им.А.П.Карпинского. Область научных интересов — литология, минерация, палеогейодинамика осадочных бассейнов; флюидно-осадочные процессы и их роль в формировании осадочных пород и руд. Наш постоянный автор.

Обсуждение проблемы взаимосвязей не только сохраняет актуальность, но и становится более злободневным. В последние десятилетия лавиной поступает новая информация и о соленосных, и о нефтегазовых бассейнах мира. Активно развиваются морские геолого-геофизические исследования, совершенствуются методы сбора, обработки и интерпретации сейсмических данных, моделирования. Стремительно прогрессирует и морское бурение, в том числе все более глубокое и глубоководное. Всего за несколько десятилетий в геологии солей и нафтидов произошел по сути информационный прорыв. Всего лишь начиная с 60—70-х годов XX в. были целиком (или в значительной мере) открыты и прослежены ранее практически неизвестные гигантские солянокупольные бассейны и целые глобальные пояса (рис.1). Соли вскрыты на всех ныне доступных бурению глубинах — и на морском дне, и в земных недрах (в Мексиканском заливе, например, они составляют соответственно 3.6 и 10.7 км).

Не менее впечатляющие открытия сделаны (и продолжают делаться!) и в познании нефтегазоносности недр. Наиболее значимые исследования касаются нефтегазового потенциала соленосных бассейнов (как ранее известных, так и большинства вновь открытых). Особенно — подсолевых отложений, технически наиболее трудно осваиваемых. Именно в таких рифогенных коллекторах открыты гигантские скопления углеводородных газов с уникальными содержаниями и запасами сероводорода. Среди них бесспорный мировой лидер — Прикаспийский бассейн.



Однако в настоящее время наметилось некоторое отставание работ по обобщению и осмыслению нового материала, раскрывающего соотношения между разномасштабными нефтегазовыми и соляными объектами, по его интерпретации, а иногда и существенной переинтерпретации. Как ни странно, ныне наименее охарактеризована макрокартина, отражающая глобальные геологические взаимосвязи между самыми крупными нефтегазоносными и соленосными бассейнами мира. Вместе с тем как раз такие объекты, несмотря на их ограниченное число, вмещают подавляющую часть общей массы и солей, и углеводородов.

Если говорить о природе взаимосвязей солей и углеводородов, то до сих пор во всем мире преобладал безальтернативный подход к солям и углеводородам как к производным осадочных процессов («чистого» литогенеза). Для солей — исключительно эвапоритовый (испарительный) седиментогенез, при котором их главным источником считаются поверхностные (преимущественно морские) воды, а главным механизмом их концентрирования — естественное (солнечное) выпаривание. Для углеводородов — катагенез возникших в седиментогенезе толщ, нефтематеринский потенциал которых целиком обязан захороненному в них биосу. Между тем новый фактический материал все настоятельнее требует также и принципиально иных представлений. В отношении солей разрабатываются две альтернативные генетические модели, которые обосновывают вероятность масштабного соленакопления в результате восходящей разгрузки в седиментационные бассейны либо более древних рассольно-соляных масс (гипотеза глубинно-корового рециклинга, или регенерационная) [10, 11], либо мантийно-магматогенных флюидов (эксгаляционно-осадочная гипотеза) [7, 9, 12, 13]. Регенерационная гипотеза существенно меняет представления и о роли процессов соляного диапиризма, и в целом галокинеза (пластичного перемещения соляных масс). Сейчас в отношении диапиризма общепринята «гравитационная» гипотеза, согласно которой все солянокупольные структуры образовались в постседиментационную стадию путем выдавливания и перетока относительно более легких и более пластичных исходно пластовых солей под действием неравномерной нагрузки перекрывающих их более тяжелых отложений. Регенерационная же модель, учитывая многочисленные новые фактические данные, обосновывает значительную роль в миграции рассольно-соляных масс высокой флюидодинамической напряженности недр и вероятность их внедрения в поверхностные солеродные бассейны, а также в ви-

де межпластовых силлоподобных тел в осадочные толщи. Общий итог этих процессов — участие более древних рассольно-соляных масс в формировании соляных тел новых уровней [10].

Альтернативные представления активно развиваются и в отношении углеводородов. Подтверждением тому стали регулярные совещания по проблемам дегазации Земли, а также начавшиеся в 2012 г. в Москве чтения, посвященные памяти Н.А. Кудрявцева. Все более разносторонне обосновывается участие глубинных восходящих коровых и мантийных источников в нефтеобразовании, а также в формировании потенциально «нефтематеринских» черносланцевых толщ.

Еще одна причина, тормозящая развитие знаний о природе взаимосвязей солей и углеводородов, заключается в доминирующем пока подходе к сонахождениям этих подвижных образований как к системам преимущественно статичным. Остаются практически без внимания их кинетические связи, которые возникают и меняются как в недрах, так и в областях разгрузки и новой седиментации.

В данном сообщении я, используя многолетний опыт в исследовании природных солей и их продуктивности [10, 14, 15], попыталась применить его, чтобы уточнить пространственные взаимосвязи наиболее крупных соленосных и нефтегазоносных бассейнов мира. Вопросы происхождения солей и углеводородов здесь не обсуждаются. Генетические модели образования солей (в том числе альтернативные эвапоритовым) были рассмотрены в более ранних работах [10].

Соленосные и солянокупольные осадочные бассейны

Бассейны, вмещающие мощные толщи солей, широко распространены на всех континентах и океанических окраинах. Отсутствуют они лишь в пределах собственно океанических пространств. Глобальные гигантские пояса солянокупольных бассейнов протяженностью во многие тысячи километров вмещают миллионы кубических километров соли. Среди них грандиозное Циркуматлантическое кольцо мезозойских солей, которое опоясывает Атлантический океан, простираясь вдоль побережий Северной и Южной Америк, Африки и Европы; более фрагментарные Циркуминдийский и Циркумледовитый пояса; уникальные по размерам сложный Средиземноморский солянокупольный супербассейн и гигантский Красноморский.

Сейчас известно свыше 100 соленосных бассейнов. Около половины из них — крупные, со-

◀ Рис.1. Соленосные бассейны мира и глобальные соляно-нафтидные узлы. Составила Г.А.Беленицкая. Обобщение по опубликованным и авторским материалам.

Таблица 1

Ориентировочные категории соленосных бассейнов (по пространственным параметрам) и нефтяных бассейнов (по геологическим запасам)

| Категории бассейнов | Индекс | Соленосные бассейны | | | Нефтяные бассейны запасы, млрд т |
|---------------------------|-----------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | мощность, км | площадь, тыс. км ² | объем, тыс. км ³ | |
| Уникальные (супергиганты) | У | 2–2.5 | >1500 | >1500 | >100 |
| Гигантские | Г | ~1.5 | 1000–1500 | 1000–1500 | 10–100 |
| Крупнейшие | Кш | 1.0–1.5 | 500–1000 | 500–1000 | 5–10 |
| Крупные | К | 0.6–1.0 | 200–500 | 100–500 | 1–5 |
| Средние | С | 0.4–0.6 | 100–200 | 10–100 | <1 |
| Мелкие | М | <0.4 | < 100 | < 10 | |

* Категории соленосных бассейнов выделены на основании обобщения литературных данных [6, 10, 14–16] и дополнительных авторских оценок; нефтяных бассейнов — по [17] с дополнениями [1, 4, 8, 18–20].

державшие очень мощные (от нескольких сотен метров до 1.5–2 км) толщи солей. Для сравнительной оценки масштабов этих бассейнов мы ввели ряд ориентировочных градаций, основанных на величинах мощности, площади и объема соляных толщ (табл.1). При отнесении бассейнов к той или иной градации (табл.2) использовались имеющиеся в литературе данные [5, 6, 10, 14–16],

которые дополнялись расчетными значениями, полученными исходя из конкретных пространственных параметров соленосных пород.

По величине соленосности резко выделяются 20 бассейнов. Каждый из них содержит свыше 100 тыс. км³ солей (в том числе 14 — свыше 500 тыс. км³). Четыре супергиганта — Прикаспийский, Мексиканского залива, Восточно-Сибир-

Таблица 2

Глобальные соляно-нефтяные узлы

| Соляно-нефтяные узлы | Соленосные бассейны | Сопряженные нефтяные бассейны | Возраст основной соленосной формации | Интервал нефтегазоносности | Калиенность соленосного бассейна |
|--|-------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|----------------------------------|
| Мексиканский | У †† | У | T ₃ [?] –J ₂₋₃ | C ₂ , T–Q | 3 |
| Прикаспийский | У †† | У | P _{1k} | D ₂ –P | 4 |
| Восточно-Сибирский | У † | Г | V ₂ –Є ₂ | V–Є | 3 |
| Западно- и Восточно-Средиземноморские | У †† | Г | T ₃ –J ₁ , N ₁ | T ₂₋₃ –N | 2 |
| Атласско-Североафриканский | Г (У)†† | Г | T ₃ –J ₁ , N ₁ | Є–T | 3 |
| Приатлантический (Присевероамериканский) | Г (У)†† | Г | T ₃ –J ₁ | J–N ₂ | 3 |
| Центрально-Европейский (Североморский) | Г †† | У | P _{2z} | Є–P ₂ | 4 |
| Персидского залива | Г †† | У | V ₂ –Є ₂ , N ₁ | V–N ₁ | 2 |
| Амударьинский | Г † | Г | J ₃ | J ₂₋₃ –P ₂ | 3 |
| Канадского Арктического архипелага | Г †† | Кш | O ₂ | T–N ₂ | 1 |
| Восточно-Бразильский | Г †† | Кш | K _{1a} | J–P | 2 |
| Западно-Канадский | Кш | У | D ₂₋₃ | Є–J | 4 |
| Кванза-Камерунский | Кш †† | Кш | K _{1a} | K ₁₋₂ –N ₁ | 3 |
| Красноморский | Кш †† | <i>Ки</i> | N ₁ | K ₂ –N ₁ | 2 |
| Пермский (Западно-Техасский) | К (<i>Ки</i>) | К | P ₁₋₂ | p–Є–P ₂ , K ₁ | 4 |
| Припятско-Днепровский | К †† | К | D ₃ , P ₁ | D ₁ –P ₁ | 4 |
| Предкарпатский | К †† | К | N ₁ | S–N ₂ | 4 |
| Амазонский | К | <i>К</i> | C–P [?] | D–C | 3 |
| Свердруп | <i>К</i> †† | <i>Ки</i> | C ₁₋₃ | T–K ₁ | 1 |

Оценки даны на основании обобщения литературных и авторских материалов. Буквенные индексы бассейнов соответствуют индексам в табл.1; курсивом показаны прогнозируемые бассейны. Солянокупольные осложнения: †† — интенсивные, † — ограниченные. Калиенность соленосного бассейна: 4 — очень значительная, 3 — значительная промышленная, 2 — установлена, 1 — вероятная. Положение соляно-нефтяного узла над акваторией: «+++» — целиком, «++» — значительная часть, «+» — частично, «-» — целиком на суше.

ский и Средиземноморский — вмещают до 1.5–2.5 млн км³ солей. Лишь немного уступают им (1.0–1.5 млн км³ соли) Центрально-Европейский, Персидского залива, Атласско-Северосахарский и Приатлантический (Присевероамериканский) бассейны. Показательно, что эти соляные массы сопоставимы с объемами других известных геологических гигантов — трапповых комплексов (~1.0 млн км³). Последние считаются своеобразными эталонами крупномасштабных природных тел. Суммарные объемы солей, заключенных в наиболее крупных соленосных бассейнах мира, грандиозны — около 25 млн км³ (что сопоставимо с общим содержанием солей в Мировом океане). По количественному распределению во времени выделяется ряд крупных максимумов: V₂—Є₂, D₂₋₃, P₁₋₂, T₃—J₁, J₃, K₁₋₂, N₁ [10, 16]. Именно с ними связаны все соленосные мировые гиганты. Наиболее значительны: V₂—Є₂, P₁₋₂ и N₁.

Среди всех соленосных бассейнов около половины (а среди крупнейших — большинство) интенсивно осложнены галокинезом (соляной или солянокупольной тектоникой) и именуются солянокупольными. Многие супергиганты и гиганты насчитывают от нескольких сотен до одной тыся-

чи таких структур, в небольших бассейнах их число измеряется десятками, а иногда и единицами. Однако и в некоторых очень крупных соленосных бассейнах галокинез весьма ограничен (например, в Восточно-Сибирском, Амударьинском, Западно-Канадском и Пермском). В целом в солянокупольных структурах заключено не менее половины всех солей мира.

Итак, в современной стратисфере соляные массы образуют два контрастных морфокинетических типа: динамичный — солянокупольный и относительно статичный — стратифицированно-пластовый.

Вопрос палеотектонического контроля соленосных бассейнов решается в зависимости от палеотектонической позиции в их разрезах мощных доминантных соляных толщ, характерных для обстановок определенных геодинамических типов (табл.3).

Существенно, что палеогеодинамический тип обстановки, в которой образовались соли, несет важную информацию о специфике их состава, глубинном строении бассейнов, характере вмещающих продуктивные толщи латеральных и вертикальных формационных рядов и т.д. [10, 14].

Нефтегазоносность соленосных бассейнов

Сейчас очевидно, что почти все соленосные осадочные бассейны нефтегазоносны. Нередко границы нефтегазоносных бассейнов проводятся по границам распространения доминантных соляных толщ (например, у Центрально-Европейского — цехштейновых, у Прикаспийского — кунгурских, у Атласско-Северосахарского — триасовых). Стратиграфический возраст солей порой используется также и в наименованиях самих бассейнов (Цехштейновый, Кунгурский, Триасовый и др.).

Фазовый состав углеводородов таких бассейнов весьма разнообразен. Мы будем ориентироваться на общую разнофазовую продуктивность и использовать термин нефтиды [8. С.15]. Н.С.Кравченко ввел понятие *нафтидный бассейн*, объединяющий территории со скоплениями углеводородов разного фазового состояния [17]. Для оценки масштабов таких территорий он предложил разделять их по общим геологическим запасам нефтидов. Мы приняли введенные им размерные категории (в несколько измененном варианте) за основу при анализе ориентировочных масштабов нафтидных бассейнов, сопряженных с соленосными [1, 5, 8, 18–20].

Роль солей в нефтегазоносности недр разноплановая. Они влияют и на структурные характеристики залежей углеводородов, и на их количественные и качественные показатели. Пластовые (и субпластовые) тела благодаря минимальной проницаемости соляных масс — общепризнанные лучшие покровы нефтегазовых залежей.

| Сера газовая | Сера самородная | Положение над акваторией |
|--------------|-----------------|--------------------------|
| С | К+С | ++ |
| У | М | + |
| М | - | - |
| - | С | +++ |
| М | - | - |
| - | - | +++ |
| С | - | ++ |
| С | У | + |
| К | С | - |
| - | - | ++ |
| - | - | +++ |
| К | - | - |
| М | - | ++ |
| - | - | +++ |
| К | К | - |
| - | М | - |
| М | У | - |
| - | - | - |
| - | - | ++ |

Таблица 3

Палеотектонические позиции доминантных соляных толщ в крупнейших соленосных бассейнах мира

| Палеотектоническая позиция | Примеры бассейнов | Возраст доминантных солей |
|--|--|-------------------------------------|
| Рифтогенные внутриконтинентальные | Припятско-Днепровский | D ₃ , P ₁ |
| | Амазонский | C—P(?) |
| | Вилуйский | D ₃ |
| | Амадиес | R ₃ |
| Рифтогенные межконтинентальные | Красноморский | N ₁ |
| | Циркуматлантические: | |
| | Приатлантический (Присевероамериканский) | T ₃ —J ₁ |
| | Мексиканского залива | T ₃ (?)—J ₂₋₃ |
| | Кванза-Камерунский | K _{1a} |
| Восточно-Бразильский | -«- | |
| Активноокраинные: вторично-рифтовые внутренние впадины задуговые бассейны сжатия | Чу-Сарысуйские | D ₃ —C ₁ |
| | Парадокс, Игл | C ₂ |
| | Амударьинский | J ₃ |
| | Восточно-Сибирский | V ₂ —Є ₂ |
| Коллизионные: краевые прогибы | Предкарпатские | N ₁ ¹⁻² |
| | Предуральские | P ₁ |
| | Пермский | P ₁₋₂ |
| внутренние впадины остаточные бассейны | Закарпатские | N ₁ |
| | Прикаспийский | P _{1k} |
| впадины поздне-коллизионных рифтов (тафрогенные) остаточно-тафрогенные (комбинированные) | Восточно-Средиземноморские | N ₁ ³ |
| | Западно-Средиземноморские | N ₁ ³ |
| | Североморский | P ₂ |
| | Персидский | V ₂ —Є ₂ |

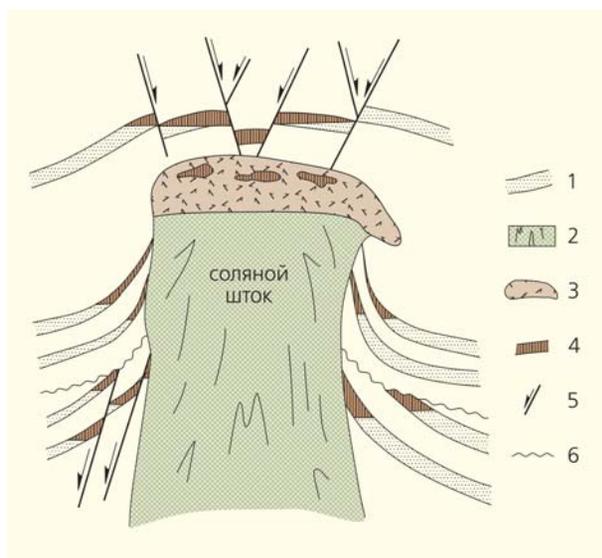


Рис.2. Основные типы залежей углеводородов, характерные для ловушек, связанных с диапировыми структурами. Моделирование [8]: 1 — коллекторские (нефтегазоносные) горизонты; 2 — соляной шток; 3 — кепрок; 4 — залежи углеводородов; 5 — тектонические нарушения, стрелками показаны направления смещений; 6 — поверхности несогласия.

Как выяснилось, эти функции успешно выполняют и аллохтонные (в том числе движущиеся) покровы солей и более мелкие нависающие козырьки диапиров [21]. Субвертикальные же тела (особенно диапиры), которые формируют в процессе своего роста широкий комплекс осложнений вмещающих и покрывающих их пород, создают разнообразные структурно-тектонические ловушки (рис.2).

Вместе с тем существенна и отрицательная роль солей. Они могут служить помехой, а то и препятствием при интерпретации сейсмических данных о структуре подстилающих их отложений, а также причиной серьезных осложнений при бурении.

Соляно-нафтидные узлы и их особенности

Нафтидный потенциал многих соленосных бассейнов, прежде всего самых крупных, чрезвычайно высок. Именно им отвечает большинство глобальных нафтидных максимумов, в том числе супергиганты и гиганты Мексиканского залива, Прикаспийский, Персидского залива, Североморский, Атласско-Северосахарский, Амударьинский, Западно-Канадский и др. Особенно это характер-

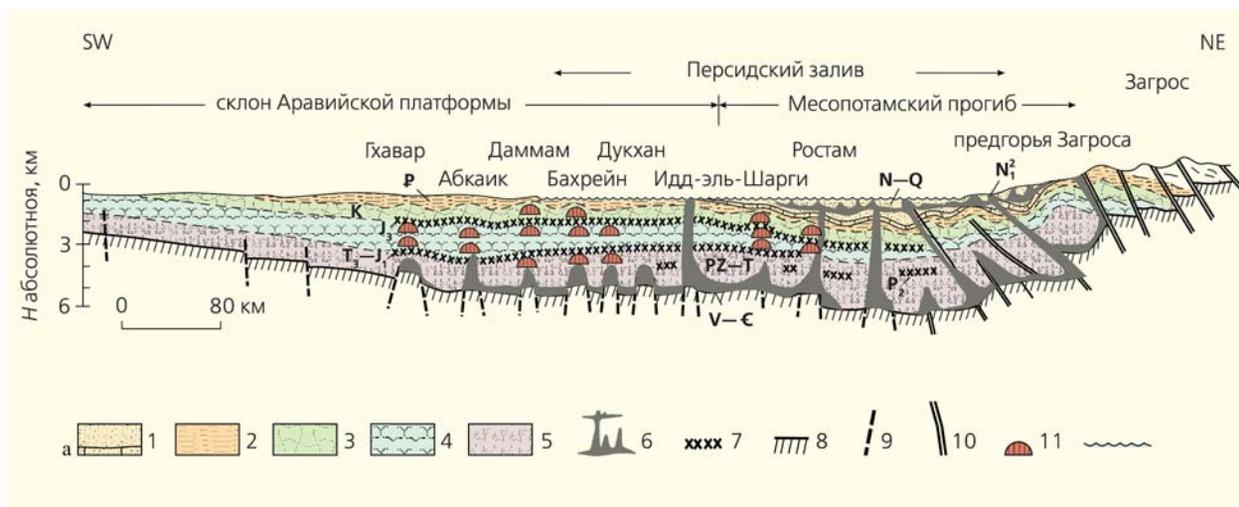


Рис.3. Схематический геологический разрез солянокупольного бассейна Персидского залива. Моделирование по опубликованным источникам. 1—5 — комплексы отложений: 1 — неоген-четвертичных (а — известняки Асмари, $P_3-N_1^1$); 2 — палеогеновых; 3 — меловых; 4 — юрских; 5 — палеозойско-триасовых; 6—7 — соли и солянокупольные образования: 6 — основные уровни: венд-кембрийский (V—Є, формация Ормуз) и миоценовый (N_1^1 , нижний фарс); 7 — второстепенные уровни сульфато- и солёности: верхнепермский (P_2), верхнетриасово-нижнеюрский (T_3-J_1) и верхнеюрский (J_3); 8 — докембрийское основание; 9 — разломы; 10 — надвиги; 11 — залежи углеводородов; 12 — воды Персидского залива.

но для солянокупольных бассейнов, в разрезах которых сосредоточены богатейшие скопления углеводородов, порой образующих многоуровневные колонны.

Нередко масштабы солёности и нефтегазосности коррелируют. Однако проблема взаимосвязи не столь однозначна: не во всех нефтяных бассейнах соли известны (например, в Западно-Сибирском и Оринокском супергигантах они отсутствуют). Правда, «бессолевого статуса» по крайней мере части этих бассейнов, вероятно, «временный», соли в их глубоких недрах просто еще не обнаружены.

Тем не менее сонахождение в большинстве случаях соляных (и солянокупольных) гигантов и высокомасштабных нефтяных бассейнов позволяет говорить о глобальных *соляно-нефтяных узлах* и анализировать их как единые системы.

На рис.1 на фоне картины размещения всех значительных соляных и солянокупольных бассейнов мира показано 19 наиболее крупных соляно-нефтяных узлов. Еще примерно столько же можно объединить в группу крупных. Типовые профили двух гигантов приведены на рис.3—4.

Глобальные соляно-нефтяные узлы имеют целый ряд однотипных особенностей размещения, строения и состава, многие из которых определяются параметрами солёных бассейнов и доминантных соляных толщ [10, 14]. Покажем наиболее общие их черты (которые в значительной мере «прочитываются» на приведенных рисунках-профилях).

Структурно-тектоническая позиция. Практически везде наблюдается связь с гигантскими

и глубочайшими депрессионными структурами длительного и интенсивного развития; большая глубина погружения фундамента и, соответственно, резко увеличенная (до 10—22 км) мощность осадочного выполнения; значительно сокращенная мощность континентальной коры. Иногда присутствуют «окна» с корой океанического типа. Четко выражаются системы ступенчатых разломных ограничений.

Наибольшее значение имеют структурные элементы зон сочленения платформ с подвижными областями, ныне находящиеся на разных стадиях геодинамической эволюции. Основные среди них — пассивноокраинные, наследующие межконтинентальные рифты, краевые прогибы активнookраинных и коллизионных поясов и остаточные бассейны, а также межконтинентально-рифтовые незавершенных тектонических циклов развития (табл.3). Несколько меньшие масштабы типичны для соляно-нефтяных узлов в рифтогенных системах внутренних частей платформ и впадин складчатых областей. Особое значение имеют структуры, возникающие на пересечении двух, реже трех геоструктурных элементов, — литогеодинамические узлы [2]. Именно с ними связаны многие «окна» коры океанического типа. Они контролируют большую часть максимумов осадконакопления, солёности и нефтяности осадочного чехла.

Масштаб, состав, строение, морфология, кинетика и другие специфические черты соляных толщ определяют многие важные особенности соляно-нефтяных узлов. Главные среди них: огромные площади и мощности, часто при-

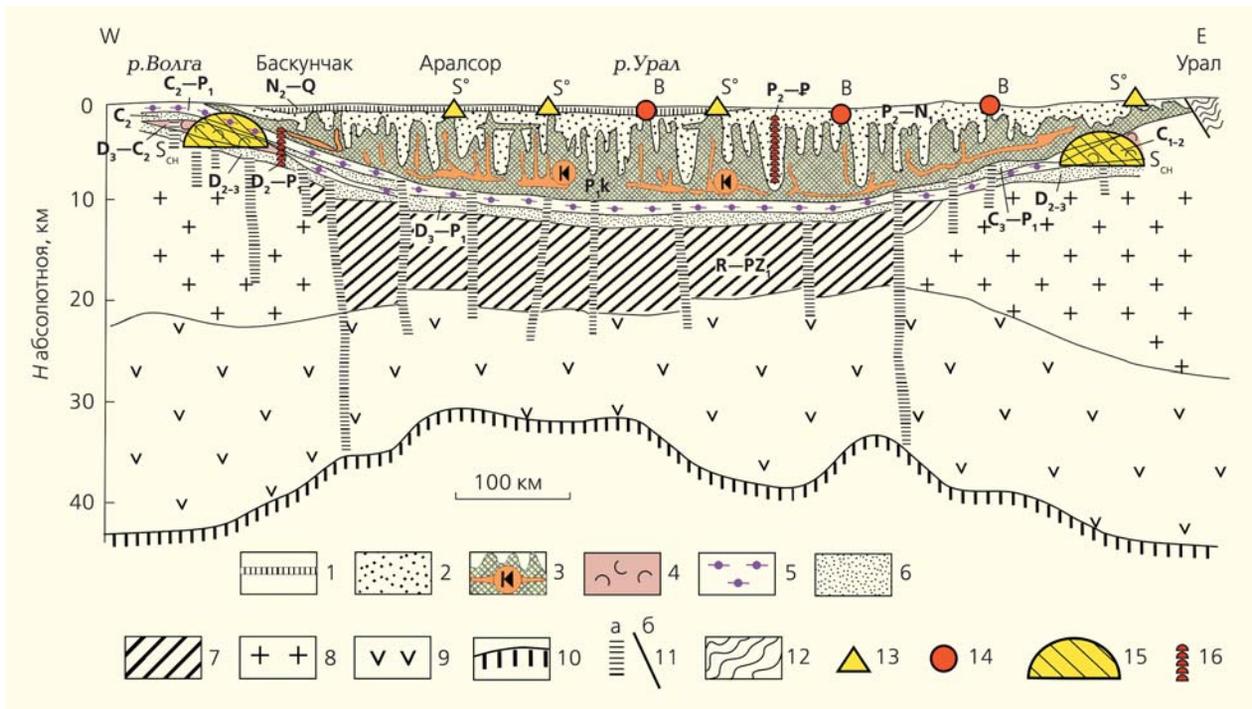


Рис.4. Геолого-минерагенический профиль через Прикаспийский солянокупольный бассейн. Моделирование по опубликованным и авторским материалам [15, с дополнениями]. 1 — покровный комплекс (N₂—Q); 2 — надсолевой комплекс терригенных и терригенно-карбонатных отложений (P₂—N₁); 3 — кунгурская галогенная формация сульфатно-калиевого типа (P₁k); 4—6 — подсолевой веохнепалеозойский (докунгурской, D—P₁) осадочный комплекс; отложения: 4 — карбонатно-рифогенные, шельфовые; 5 — глинисто-кремнисто-карбонатные доманиковского типа, глубоководные; 6 — существенно терригенные; 7 — рифейско-нижнепалеозойский доплитный терригенно-карбонатный комплекс повышенной плотности (R—PZ.); 8 — гранитный слой; 9 — базальтовый (гранулит-базитовый) слой; 10 — верхняя мантия; 11 — глубинные разломы (а) и надвиговые зоны (б); 12 — складчато-надвиговые комплексы Урала; 13—15 — месторождения и проявления: 13 — серы самородной; 14 — боратов; 15 — серы газовой; 16 — обобщенные интервалы нефтегазоносности (P₂—P).

сутствие в разрезе двух-трех (иногда и больше) соляных пластов, значительные (до 5—10 км) глубины расположения доминантных толщ, интенсивная и разнообразная соляная тектоника. Калиеносность солей — важная черта практически всех подобных узлов, определяющая связь с ними глобальных аномалий подвижных форм калия, а также магния, брома и других соляных компонентов.

Вертикальная дисгармоничность присуща строению большинства соляно-нафтидных узлов. Как правило, в них выделяются разделенные толщами солей структурные мегакомплексы, которым отвечают самостоятельные этажи нефтегазоносности. Если в разрезе присутствует одна мощная доминантная толща, то выделяются подсолевой и надсолевой комплексы, различающиеся типом и интенсивностью дислокации пород и характером нефтегазоносности (например, Прикаспийский бассейн, рис.4). При наличии более чем двух соленосных толщ количество этажей нефтегазоносности возрастает (бассейн Персидского залива, рис.3).

Парагенезы соленосных толщ с высокоуглеродистыми (черносланцевыми) и рифо-

генно-карбонатными формациями образуют глобально выраженную литолого-формационную и нефтегазовую триаду. Высокоуглеродистые комплексы чаще всего подстилают соленосные толщи, иногда расстилают или перекрывают их. Рифогенно-карбонатные располагаются под или над солями. Соотношение между членами триады отчетливо зависит от палеотектонической позиции. Так, на пассивных окраинах типичен восходящий ряд: высокоуглеродистые → соленосные → рифогенно-карбонатные (Кванза-Камерунский, Восточно-Бразильский и др.), в краевых системах: рифогенно-карбонатные → высокоуглеродистые → соленосные (Предуральские, Прикаспийский, Пермский и др.). Существенно, что такие триады (соли, рифы, черные сланцы) с разной полнотой проявляются в разных масштабах — и в сочетаниях относительно более мелких литологических тел, вплоть до уровня пород. Многоуровенность солей, высокоуглеродистых комплексов, а часто и всей триады — характерная черта разрезов многих соляно-нафтидных узлов.

Для **состава нафтидов** в рассматриваемых бассейнах характерна высокая сернистость. В на-

ибольшей мере она свойственна рифогенно-карбонатным резервуарам, занимающим подсолевою (или смежную с солями) позицию. Именно к ним приурочены все без исключения глобальные максимумы сероводородсодержащих газов [10]. Многие крупные месторождения самородной серы экзогенной группы также связаны с соляно-нафтидными бассейнами (Мексиканским, Персидского залива, Амударьинским, Пермским, Средиземноморским и др.).

В **подземных водах** соляно-нафтидных узлов присутствуют высококонцентрированные (крепкие и сверхкрепкие) рассолы, преимущественно Cl–Na–Ca-, Cl–Mg–Ca- и Cl–Ca-типов, с характерным комплексом галофильных макро- и микрокомпонентов (K, Mg, Br, B и др.), часто содержащих сероводород. Все они находятся в очень высоких (нередко уникальных) концентрациях.

Таким образом, можно констатировать: соляно-нафтидные бассейны представляют собой *глобальные комплексные литогидрогазогеохимические галофильные аномалии в стратисфере Земли.*

Центры восходящей миграции и разгрузки солей, рассолов, углеводородов

Чрезвычайно важная черта многих соляно-нафтидных узлов — высокая флюидодинамическая напряженность недр. Ее следствия — широкомасштабная восходящая миграция всех подвижных компонентов (прежде всего солей и углеводородов) и их интенсивная разгрузка в зоне седиментогенеза (рис.5—7). Особенно широко и эффективно эти процессы выражены в бассейнах с активной соляной тектоникой. Соли здесь находятся в нестабильном состоянии. Масштабен и разнообразен диапиризм. Множество субвертикальных тел (столбов, башен, гигантских капель, протяженных хребтов, стен и т.д.) рассекают осадочные комплексы, нередко прорывая даже самые молодые отложения. Типична и другая форма проявления соляной тектоники — аллохтонные (чужеродные) покровы (рис.6—7). Природу этих субогласных соляных тел удалось обосновать лишь в последние годы, главным образом благодаря исследованиям в Мексиканском заливе [3, 10, 21, 22]. До недавнего времени покровные соли этого бассейна, залегающие среди миоценовых осадочных пород и также датированные миоценом, однозначно интерпретировались как толщи, возникшие при солнечном выпаривании морских вод. Переинтерпретация, изменение датировки солей и всех производных построений (включая тектонические, палеогеографические, палеоклиматические) требуют большой работы и естественно вызывают серьезное сопротивление. Между тем соляные покровы, будучи активными участниками жизни солей, в еще большей степени влияют на распределение залежей углеводородов. Поня-

тие *подсолевая залежь* приобретает все более широкий смысл.

Для соляно-нафтидных узлов характерно также развитие масштабного рассольно-соляного и грязевого вулканизма, разных типов высокодебитных источников рассолов и нефтей, озер-разливов (рассольных и нефтяных), активного глиняного диапиризма. Здесь же локализуются и сверхпродуктивные фонтанирующие скважины, связанные с зонами высоких аномальных пластовых давлений в недрах [3].

Миграция и разгрузка солей и углеводородов осуществляется в разных комбинациях и в разной последовательности. Посмотрим еще на один аспект взаимосвязей солей и углеводородов, хорошо известный, но, как правило, не привлекающий большого внимания. Речь идет о совместной восходящей миграции солей и углеводородов, обусловленной некоторым сходством их миграционно-реологических свойств, особенно в условиях флюидодинамической напряженности недр, и о транспортирующей роли солей в ходе такой миграции. Соль в своем диапировом восхождении (как субстанция более плотная по сравнению с углеводородами) сильнее нарушает целостность вмещающих слоистых толщ, формируя зоны повышенной проницаемости, куда и устремляются углеводороды. Соляные диапиры здесь выполняют роль своеобразных таранов и «эвакуаторов», способствующих более интенсивной миграции углеводородов (правда, одновременно немного и тормозящих их восхождение — создавая на путях следования «заторы» в виде структурно-тектонических ловушек и покрышек). Важно, что и сами высоконапорные углеводороды, в свою очередь, изо всех сил «подталкивают» соли снизу. Существенно, что подобные миграционные взаимосвязи углеводороды обнаруживают и со всеми другими подвижными текучими породами, прежде всего с глинистыми — главными участниками глиняного диапиризма и грязевого вулканизма.

Масштабное развитие процессов восходящей миграции и разгрузки делает соляно-нафтидные бассейны одновременно крупнейшими очагами восходящего нафтидо-соляного стока и центрами наиболее активного влияния (и нагрузки) на геологическую среду.

Соляной и нафтидный коровый рециклинг

Конечная разгрузка рассольно-соляных масс и нафтидов в седиментационные бассейны способствует формированию новых уровней соленосных и высокоуглеродистых комплексов [3, 10, 25]. Чем она интенсивнее, тем эффективнее процессы молодого галогенеза и нафтидогенеза.

При тектонических перестройках, сопровождаемых смятием соленосных и нефтегазоносных

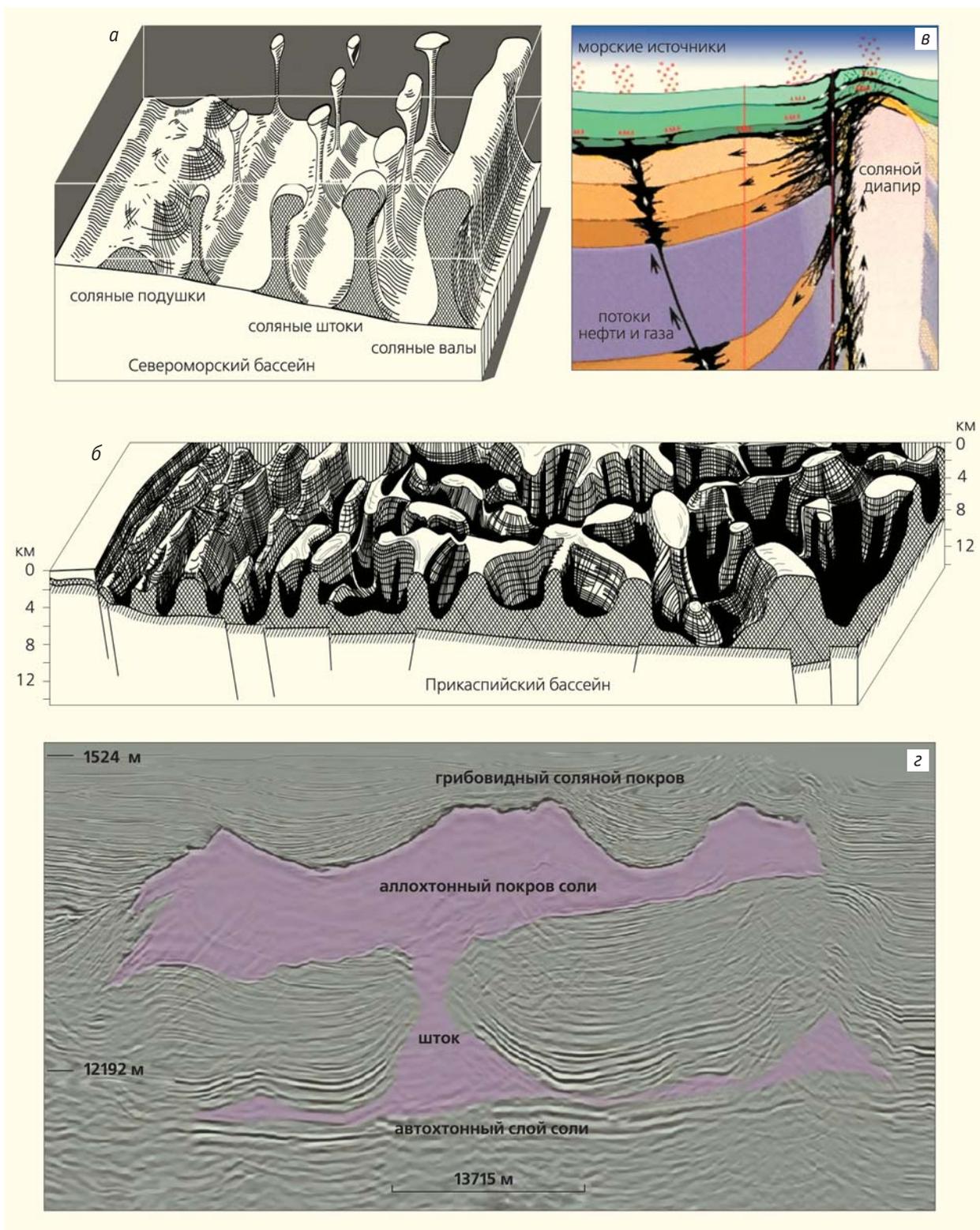


Рис.5. Разные типы подземных диапировых и покровных соляных структур. Солянокупольные структуры Североморского (а) [11] и Прикаспийского (б) [14] соленосных бассейнов; разрез нефтеносного соляного купола Мексиканского бассейна (в) [23] и подземный рост мощного грибовидного аллохтонного покрова соли под континентальным шельфом Мексиканского залива (z). Покров сформирован двумя диапировыми телами, поднимавшимися из подстилающего слоя автохтонной (образованной на месте) мезозойской соли, который оказался почти истощенным; в центре виден шток, соединяющий автохтонное и аллохтонное соляные тела, справа — второй выклинивающийся шток. Сейсмические изображения [21].

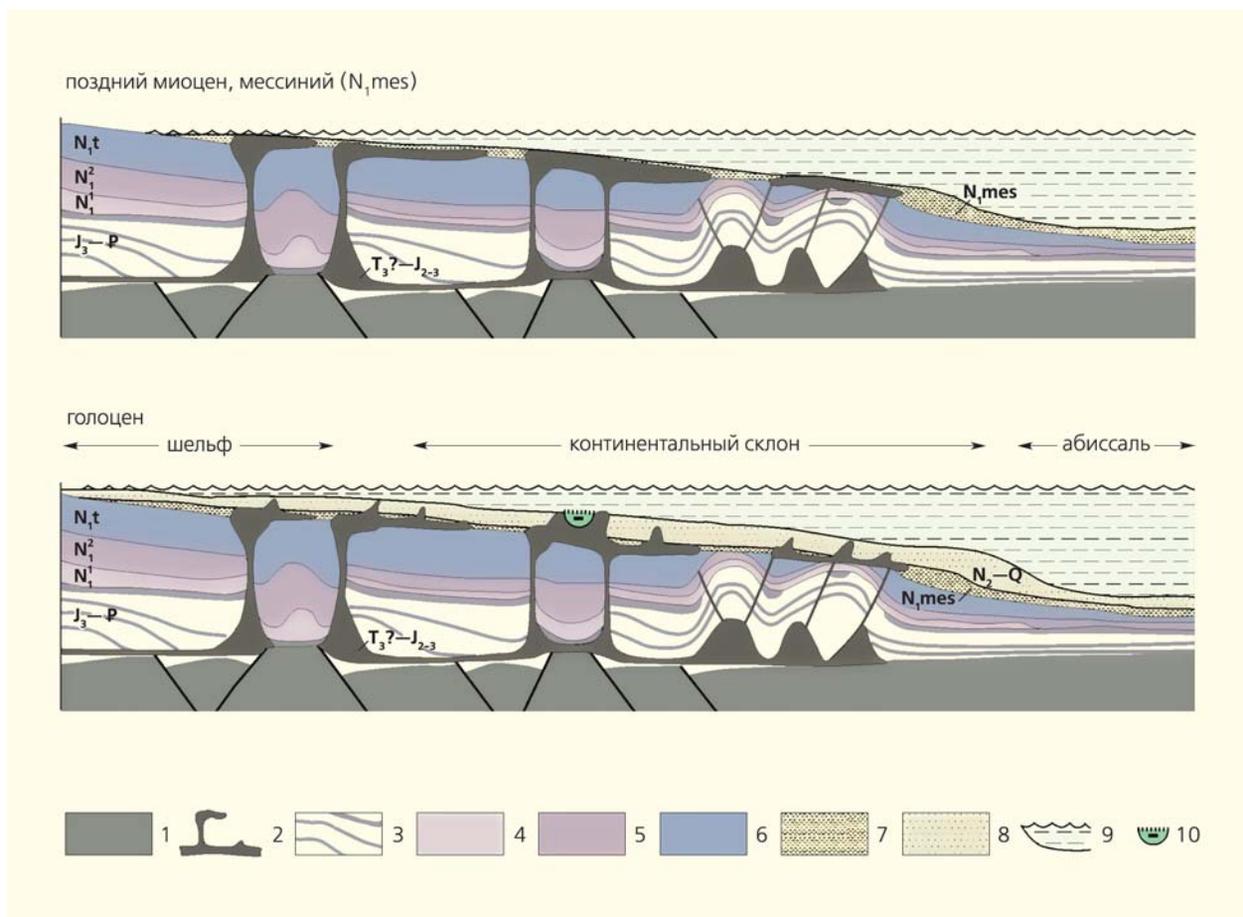


Рис.6. Модель развития аллохтонных соляных покровов в миоцен-четвертичное время на севере Мексиканского залива: мессиний — растекание солей по дну акватории с формированием соляных «аллохтонных покровов», голоцен — осложнение «аллохтонных покровов» солянокупольными структурами с образованием придонных рассолоносных впадин. Моделирование [22, 24]. 1 — фундамент; 2 — соль Лоанн ($T_3^? - J_{2-3}$); 3—8 — осадочные комплексы: 3 — стратифицированные верхней юры — палеогена ($J_3 - P$), 4 — нижнемиоценовые (N_1^1), 5 — среднемиоценовые (N_1^2), 6—7 — верхнемиоценовые: 6 — тортонские, N_1,t ; 7 — мессинские, N_1,mes ; 8 — плиоцен-четвертичные ($N_2 - Q$); 9 — воды залива; 10 — глубоководное рассольное озеро (типа Орки).

комплексов, происходит частичное или полное разрушение самих соляно-нафтидных узлов, которое характеризуется прежде всего выдавливанием их соляной и нафтидной «начинки». При этом бассейны становятся мощными источниками вещества для формирования новых соляных и углеродистых комплексов, центрами их регенерации и рециклинга.

Восходящая миграция и разгрузка солей и углеводородов проявляется широким спектром процессов. Для солей — это и механический переток соляных масс с формированием аллохтонных покровов, и химическая реседиментация из рассолов с накоплением новообразованных солей. Для углеводородов — переток и возникновение нефтегазовых залежей, их переформирование, разрушение, участие в реседиментации с накоплением новых уровней высокоуглеродистых отложений. Соляно-нафтидные узлы выступают как

своеобразные реакторы, обеспечивающие нафто-соляной рециклинг, инициируемый флюидно-тектонической активностью недр.

Именно эти процессы — одна из основных причин, ответственных за совпадение главных эпох соле- и углеродонакопления с эпохами диастрофизма, а многоуровневность, многоэтажность и унаследованность солей и нафтидов — их следствие.

* * *

Таким образом, соляно-нафтидные узлы представляют собой многокомпонентные динамичные геофлюидные системы, в которых соли и нафтиды служат ключевыми подвижными макроэлементами. Общая восходящая направленность таких систем определяет неравномерную миграцию их компонентов со скрытыми перетоками в недрах, с временной локализацией углеводо-

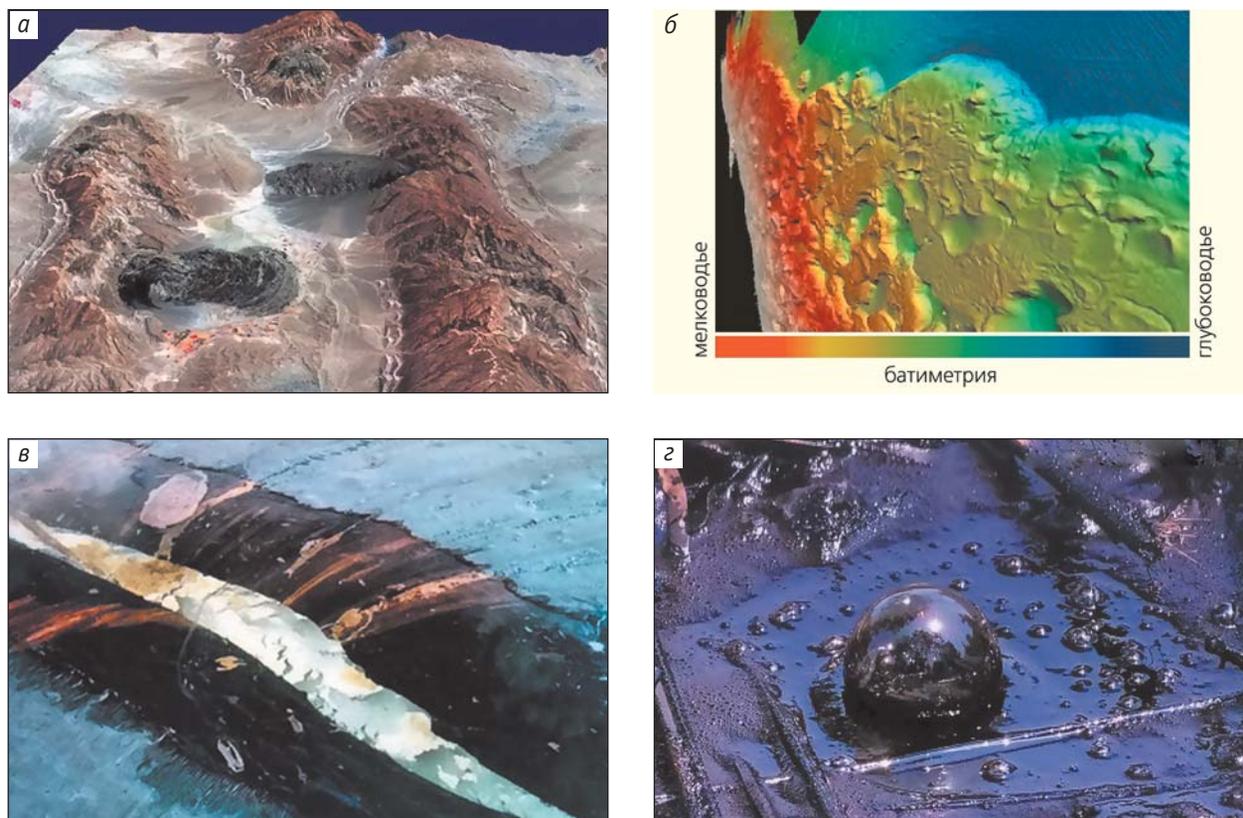


Рис.7. Растущие и растекающиеся наземные и подводные соляные покровы и нефтяные извержения. *а* — субазальный аллохтонный соляной покров (соляной глетчер) Кухи-Намак образован венд-кембрийскими солями Ормуз, которые вытекают из антиклинали, перекрывая отложения юрского и мелового возраста (<http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages>); *б* — подводный аллохтонный соляной покров и уступ Сигсби; континентальный шельф Мексиканского залива; батиметрическое изображение [21]; *в, г* — асфальтовое озеро Пич-Лейк. По трещинам извергаются и расплываются новые порции жидкого асфальта (*в*), поверхность асфальта бурлит, пузырится, из глубин поднимаются сернистые газы, крупные пузыри всплывают на поверхности асфальта (*г*).

родов в залежах, с конечной открытой разгрузкой в область осадконакопления и включением в новые циклы нефтоседиментогенеза и соленакопления.

И еще одна особенность (во многом являющаяся производной от предыдущей) характерна для большинства соляно-нафтидных бассейнов: их чрезвычайно высокая аварийность при бурении на нефть и газ. Все эти показатели (причем одни и те же!) делают такие бассейны одновременно и максимально перспективными для поисковых работ и добычи нефти, и максимально опасными.

Для конкретных бассейнов, в том числе гигантских, разные аспекты соотношений солей и углеводородов рассмотрены в многочисленных публикациях. Эталонным и модельным объектом может служить один из крупнейших в мире и наиболее изученный Мексиканский соляной и нафтидный супергигант [3]. Отражая типичные черты и соляных, и нафтидных бассейнов, он выделяется своими пространственными характеристиками и чрезвычайно яркими геологическими,

нефтегазовыми, флюидодинамическими показателями даже среди других гигантов. К тому же Мексиканский бассейн фокусирует главные контрастные тенденции современного развития нефтегазовой геологии и нефтедобычи: с одной стороны — стремительное освоение все более глубоких и глубоководных областей, обязанное колоссальным достижениям науки, техники и технологии и их интеграции, с другой — столь же стремительный, а порой и опережающий рост сложностей и, главное, угроз со стороны недр, все чаще выходящих из-под контроля. Именно в Мексиканском бассейне установлены рекорды почти всех показателей нефтяного бурения: и общей глубины, и глубоководности (в том числе по подсольевым коллекторам), и продуктивности, и аварийности, которые особенно ярко высветил случай с Deepwater Horizon [3]. Большинство других соляно-нафтидных узлов сопоставимы с Мексиканским и также относятся к числу наиболее высокоперспективных и высокоаварийных.

Судя по имеющейся информации и всем прогнозам, в ближайшем будущем основными объектами внимания останутся именно крупнейшие соляно-нафтидные узлы, в которых наряду с уже установленными гигантскими скоплениями ожидаются еще более значительные, причем в

самых глубоких и глубоководных областях, где наиболее уверенно предполагается грядущая «самая большая» нефть. Особые надежды возлагаются на глубокозалегающие подсолевые резервуары, с ними же связываются и экстремальные риски. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 07-05-00907, 10-05-00555.

Литература

1. Аксенов А.А., Гончаренко Б.Д., Калинин М.К. и др. Нефтегазоносность подсолевых отложений. М., 1985.
2. Беленицкая Г.А. Карта литогеодинимического районирования нефтегазоносных территорий России // Геодинамика нефтегазоносных бассейнов. М., 2005. С.77–85.
3. Беленицкая Г.А. Мексиканский соляно-нефтяной реактор // Природа. 2011. №3. С.18–31.
4. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности солянокупольных бассейнов материков по геофизическим данным / Ред. Н.В.Неволин. М., 1977.
5. Капченко Л.Н. Связь нефти, рассолов и соли в земной коре. Л., 1974.
6. Калинин М.К. Соленаккумуляция, образование соляных структур и их влияние на нефтегазоносность. М., 1973.
7. Кудрявцев Н.А. О закономерностях накопления ископаемых солей // Сов. геол. 1966. №7. С.25–37.
8. Леворсен А. Геология нефти и газа. М., 1970.
9. Маракушев А.А., Маракушев С.А. Природа ассоциации соляных и нефтяных залежей // Пространство и время. 2012. №1(7). С.120–126.
10. Беленицкая Г.А. Галогенсодержащие бассейны // Литогеодинимика и минералогия осадочных бассейнов / Под ред. А.Д.Щеглова. СПб., 1998. С.220–320.
11. Trusbeim F. Mechanism of salt migration in Northern Germany // Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull. 1960. V.44. P.1519–1540.
12. Созанский В.И. Геология и генезис соленосных образований. Киев, 1973.
13. Джиноридзе Н.М., Гемп С.Д., Горбов А.Ф., Раевский В.И. Закономерности размещения и критерии поисков калийных солей СССР. Тбилиси, 1980.
14. Беленицкая Г.А. Осадочные бассейны Земли. Соляная тектоника // Планета Земля: Энциклопедический справочник. Том «Тектоника и геодинамика» / Гл. ред. Л.И.Красный. СПб., 2004. С.189–222, 354–375.
15. Беленицкая Г.А. Минералогия соленосных бассейнов мира. Соленосные осадочные бассейны континентов. Планета Земля: Энциклопедический справочник. Том «Минералогия» // Энциклопедический справочник «Планета Земля» / Гл. ред. Л.И.Красный. СПб., 2008. Кн.1. С.165–189; Кн. 2–5.
16. Жарков М.А. Палеозойские соленосные формации мира. М., 1974.
17. Кравченко К.Н. Бассейновая основа общей теории нафтидогенеза. М., 2004.
18. Гаврилов В.П. Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. М., 1990.
19. Карта нефтегазоносности мира. Масштаб 1:15 000 000. Объяснительная записка / Координаторы В.И.Высоцкий, Ю.Г.Наместников и др. М., 1994.
20. Перродон А. История крупных открытий нефти и газа. М., 1994.
21. Дрибус Д.Р., Джексон М.П.А., Капур Д., Смит М.Ф. Сокровища под соляными толщами // Нефтегазовое обозрение. Осень. 2008. С.5–21.
22. McBride Barry C. The evolution of allochthonous salt along a megaregional profile across the Northern gulf of Mexico basin // AAPJ Bulletin. 1998. V.82. №5B. P.1037–1054.
23. Лим Б.К. В Мексиканском заливе ничего не закончилось (http://bklm.newsvine.com_news/2011).
24. Combellas-Bigott R.L., Galloway W.E. Depositional and structural evolution of the middle Miocene depositional episode, east-central Gulf of Mexico // AAPG Bull. 2006. V.90. №3. P.335–362.
25. Беленицкая Г.А. Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога // Природа. 2010. №2. С.25–34.

Физическая водобоязнь

А.О.Чугунов, А.А.Полянский, Р.Г.Ефремов

Водобоязнь — страх перед возникновением мучительных глотательных судорог при попытке сделать глоток воды, а порой при ее виде или упоминании о ней — сопровождается некоторые заболевания (столбняк, истерию, бешенство), причем бешенство раньше называли гидрофобией (от греч. υδωρ — вода и φόβος — страх). Однако в нашем случае речь пойдет не о симптоме болезни человека, а о физическом свойстве молекул — гидрофобности. Именно с этим явлением мы встречаемся в жизни, когда произносим известное с детства выражение «как с гуся вода». Действительно, по гусиному перу или листу лотоса капельки воды сбегают подобно шарикам ртути по поверхности стекла, не оставляя никакого следа (рис.1)*. Согласно классическим представлениям о гидрофобных поверхностях, показателем тут служит краевой угол смачивания (θ), который для несмачиваемых поверхностей больше прямого угла (90°), а для смачиваемых — меньше него. В частности, для капельки воды на поверхности парафина $\theta = 109^\circ$, а на поверхности фторопласта (самого гидрофобного материала из известных) — 112° . В то же время «абсолютно» гидрофобная поверхность описывалась бы углом 180° , когда вода скатывается с поверхности, ни секунды на ней не задерживаясь.

* Подробнее см.: *Абразон А.А.* Возьмем за образец лист лотоса // *Химия и жизнь*. 1982. №11. С.38—40.



Роман Гербертович Ефремов, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией моделирования биомолекулярных систем и заместитель директора Института биоорганической химии имени академиков М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова. Область научных интересов — биологические мембраны, теоретическое моделирование структуры и динамики мембранных белков.



Антон Олегович Чугунов, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Занимается изучением образования пространственной структуры (фолдинга) белка, мембранных рецепторов, моделированием структуры рецепторов, действующих через активацию G-белка (GPCR).



Антон Александрович Полянский, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — физика белка, молекулярная организация мембран, направленная разработка лекарств. Вместе с А.О.Чугуновым создал научно-популярный сайт «Биомолекула» (<http://biomolecula.ru>).

Так неужели гусь гидрофобнее фторопласта? Фактически так и есть, но достигается это за счет небольшой уловки: поверхность пера гуся (равно как и листа лотоса) не ровная — она покрыта микроскопическими пирамидками или волосками, что уменьшает площадь контакта с каплей и эффективную адгезию. На этом же принципе основаны супергидрофобные поверхности, отталкивающие воду практически идеально. Микромасштабная шероховатость таких поверхностей (см. рис.1) снижает эффективную площадь кон-

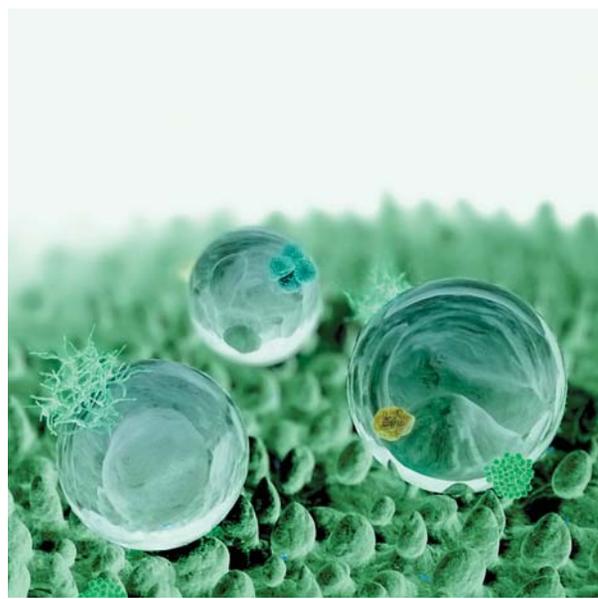
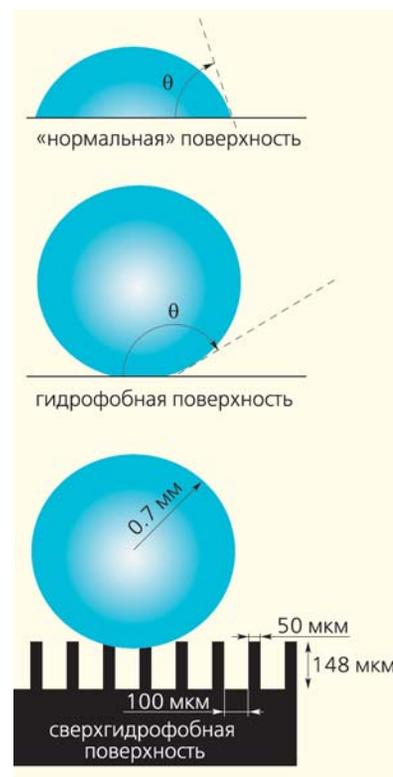
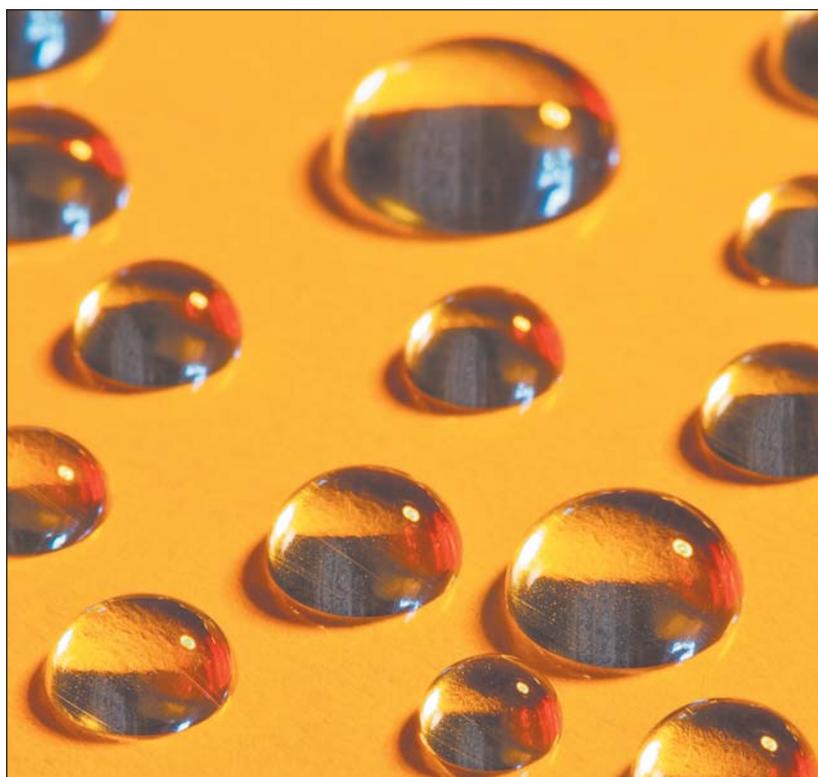


Рис.1. Степень гидрофобности материала можно определять по углу смачивания, от которого зависит, будут ли капли воды растекаться по поверхности или собираться в шарики. Примеры гидрофобных поверхностей (слева): полиэтиленовая пленка (вверху) и лист лотоса (внизу). Гидрофобность фактически означает несмачиваемость, когда вода скатывается с поверхности полностью, не оставляя влажных следов. Определение гидрофобности на основе краевого угла смачивания (справа вверху): при $\theta < 90^\circ$ поверхность называют смачиваемой (гидрофильной), при $\theta > 90^\circ$ — несмачиваемой (гидрофобной). Эффект абсолютной гидрофобности (или супергидрофобности) достигается за счет микроскопических шероховатостей, уменьшающих площадь контакта капли с поверхностью [1]. Так устроена, например, поверхность лотоса (справа внизу): микроскопические шипики не дают каплям воды смочить поверхность, и они скатываются с листа. «Затець» между шипиками вода тоже не может, потому что в этом масштабе поверхностное натяжение уже не дает капле дробиться на более мелкие. Чтобы понять, почему полиэтиленовая пленка отталкивает воду, нужно опуститься на уровень отдельных молекул и рассмотреть, как они взаимодействуют между собой.

такта с каплей воды, которая в этом масштабе за счет поверхностного натяжения ведет себя подобно упругому телу.

Чтобы понять, почему одни вещества с удовольствием смачиваются водой, а с гуся она скатывается, нужно опуститься на уровень отдельных молекул и рассмотреть, как они взаимодействуют между собой.

Гидрофобные молекулы

С точки зрения химического строения гидрофобными, или неполярными, называют молекулы, в составе которых нет химических групп, способных образовывать с водой водородные связи. Например, это бензол и другие жидкие углеводороды (составляющие бензина). Однако наиболее интересными свойствами обладают амфифильные молекулы: они содержат и полярную, и неполярную части, поэтому они образуют в смесях с водой довольно сложные структуры (мицеллы, везикулы, слои и т.д.), а управляется этот процесс гидрофобным эффектом.

Что интересно, изучение молекулярной природы гидрофобности началось еще в конце XVII в., когда представления о молекулярной природе веществ были еще крайне туманны, но общая любознательность государственных мужей была не в пример нынешней. Дело было так: в 1774 г. Б.Франклин в свободное от государственных дел время исследовал растекание оливкового масла по поверхности пруда. Площадь пятна от одной ложки масла получалась все время одна и та же — пол-акра, — а толщина фактически равнялась одной молекуле. Эксперимент с маслом положил начало исследованиям мономолекулярных липидных пленок, из которых стало ясно: некоторые молекулы настолько не любят воду, что не только не смешиваются с ней, но и готовы устраниваться от воды всеми возможными способами — например, скапливаясь в виде слоя толщиной в одну молекулу (монослоя) на границе воды с воздухом*.

Другой важный тип молекул-амфифилов — мыла, повсеместно применяемые в быту и в народном хозяйстве [2]. Принцип их действия можно почерпнуть даже из рекламных роликов: неполярная часть молекул моющего средства «слипается» с молекулами загрязнителя (как правило, гидрофобными), а полярная часть активно взаимодействует с молекулами воды. В результате происходит солиubilизация: грязь отрывается от поверхности и заключается внутрь агрегирующих молекул мыла, выставляющих полярные фрагменты «наружу» и прячущих гидрофобные части «внутри» [2].

* Подробнее см.: *Блинов Л.М.* Молекулы-русалки // Наука и жизнь. 1989. №4. С.80—88.

Однако наслаждаться товарными качествами лучших моющих средств позволяет нам еще более важное качество амфифильных молекул (а именно липидов): они служат оболочкой для всех известных форм жизни, образуя мембрану клеток, под которой протекают все жизненные процессы**. Этот немаловажный факт говорит нам, что молекулярная природа гидрофобного эффекта — вещь отнюдь не праздная, но имеющая фундаментальное значение для всей биологии, не говоря уже о прикладных отраслях.

Но при ближайшем рассмотрении оказывается, что за «притяжение» гидрофобных частиц друг к другу и «отталкивание» их от воды не отвечает никакое фундаментальное физическое взаимодействие, вроде гравитации или электростатических сил. Его природа кроется в физическом принципе, накладывающем ограничение на направление протекания большинства спонтанных процессов, а именно во Втором начале термодинамики.

Немного термодинамики

Термодинамика — одна из первых наук, переброшивших мостки между микроскопическим миром атомов и молекул и «нашим», макроскопическим миром. Ее рождение связывается с изучением работы паровых машин и именем Н.Л.С.Карно (1796—1832); в его честь названы термодинамические циклы, определяющие количество работы, которое может произвести машина. Дело продолжили Д.Н.Джоуль, У.Т.Кельвин и Р.Ю.Э.Клаузиус — они подвели под эту первоначально сугубо практическую область мощную теоретическую базу.

Усилиями этих ученых сформулированы основные законы (или начала) термодинамики, обобщающие многовековой эмпирический опыт наблюдения за тепловыми процессами. Первое начало говорит о сохранности энергии изолированной системы («закон сохранения энергии»), а второе — о направлении протекания самопроизвольных процессов. (Еще есть нулевое и третье начала, но здесь мы о них говорить не будем.) Со вторым началом неразрывно связано понятие энтропии (S), которая снискала славу самой загадочной термодинамической величины. Первоначально определенная Клаузиусом как отношение сообщаемого системе тепла к температуре ($\Delta S = \Delta Q/T$), позже энтропия обрела смысл глобальной «меры хаоса» и стала основой современной формулировки второго начала: «Самопроизвольные процессы в изолированной системе сопровождаются возрастанием энтропии».

Л.Э.Больцман (1844—1906) связал всю эту тепловую «кухню» с уровнем составляющих вещество атомов, причем еще до того как атомарное строе-

** Подробнее см.: *Чугунов А.О., Полянский А.А., Ефремов Р.Г.* Липидный фундамент жизни // Природа. 2012. №3. С.3—12.

ние материи стало общепризнанным. Главным достижением своей жизни он считал открытие (в 1877 г.) статистической формулы для исчисления энтропии: $S = k \log W$, где S — это энтропия, k — константа, названная позднее Планком именем самого Больцмана, а W — статистический вес состояния (число микросостояний, которым реализуется данное макросостояние). Несмотря на плохое зрение, он смотрел «в глубь» материи существенно дальше коллег: первым почувствовал мощь статистического подхода к описанию термодинамических ансамблей и применил его в молекулярной физике. Существует версия, что Больцман покончил с собой из-за непонимания современников, которых он кардинальным образом опередил. Упомянутая формула высечена на его надгробии на кладбище в Вене.

Несмотря на всю таинственность понятия энтропии, смысл второго начала достаточно прост: если система изолирована (т.е. не обменивается с внешним миром ни веществом, ни энергией), то она будет стремиться к состоянию термодинамического равновесия — такому макросостоянию, которое реализуется максимально возможным числом микросостояний (т.е. имеет максимальную энтропию). К примеру, разбившаяся

чашка никогда вновь не склеится сама: начальное состояние (целая чашка) реализуется лишь одним способом ($S = 0$), а вот конечное (расколотая чашка) — астрономически большим числом способов ($S \gg 0$). Поэтому, увы, в глобальной перспективе все чашки обречены. Объяснению второго начала «для домохозяек» посвящена замечательная научно-популярная книга П.Эткинса «Порядок и беспорядок в природе» [3].

Гидрофобный эффект с точки зрения статистической физики

Второе начало объясняет, почему чашка чая на столе обязательно остынет до комнатной температуры, но никогда сама по себе не нагреется вновь, отобрав тепло у воздуха в кухне. Но применимы ли те же самые рассуждения для понимания, скажем, несмешиваемости воды и масла? Ведь второе начало стремится «все уровнять», а вода с маслом, наоборот, отказываются растворяться друг в друге (рис.2,а).

И впрямь, если рассматривать только масло, то покажется, что термодинамика не работает: растворение масляной пленки в толще жидкости явно

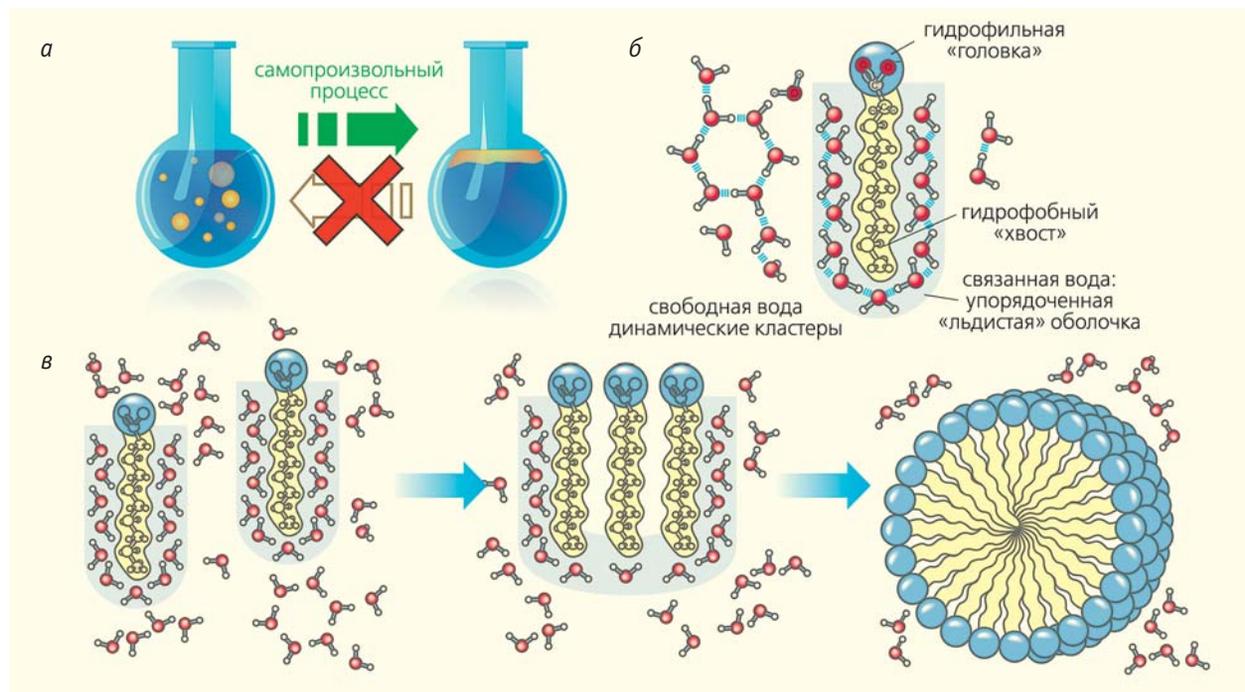


Рис.2. Иллюстрация гидрофобного эффекта. Гидрофобный эффект заставляет воду «отталкивать» неполярные молекулы (такие, как масло) и уменьшать площадь контакта с ними (а). Из-за этого много маленьких капелек масла в воде в конечном итоге обязательно сольются вместе и образуют слой. Образование упорядоченного («льдистого») слоя молекул воды вблизи гидрофобной поверхности необходимо, чтобы молекулы воды могли формировать водородные связи друг с другом (б) [14]. Но это приводит к падению энтропии, невыгодному в связи со вторым началом. Естественная возможность увеличить энтропию — снизить площадь контакта гидрофобных молекул с водой, что и происходит при агрегации нескольких неполярных молекул между собой (в) [14]. В случае амфифильных молекул появляется самоорганизация, и начинают формироваться довольно сложные надмолекулярные структуры, такие как мицеллы, бислои и везикулы (см. рис.3).

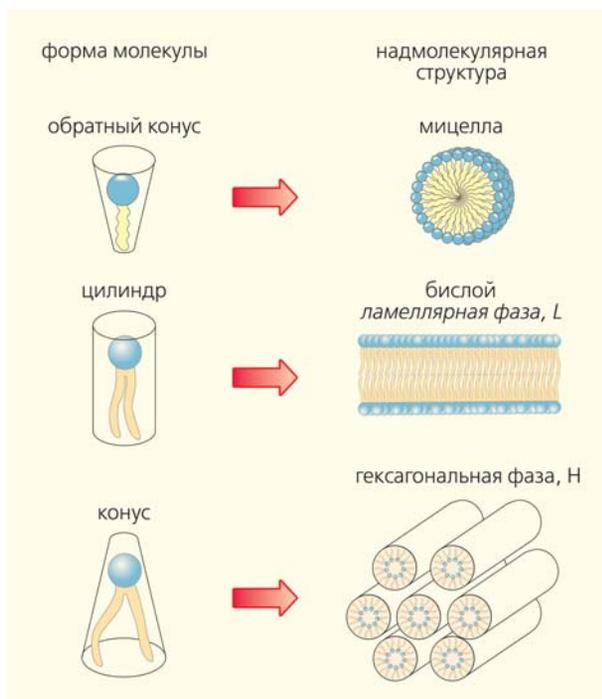


Рис.3. Липидный полиморфизм. В зависимости от формы и других свойств молекулы, характеризующих несимметричное строение головки и хвоста, липиды образуют различные надмолекулярные структуры. Сверху вниз: при обратной конической форме молекулы образуются структуры с положительной кривизной (мицеллы и гексагональная фаза HI); цилиндрическая форма дает плоские (ламеллярные) структуры, такие как бислои; при конической форме образуются кубическая фаза и обращенные гексагональная (HII) и мицеллярная фазы.

увеличило бы энтропию по сравнению с монослоем. Но все знают, что на самом-то деле происходит все наоборот: даже если воду с маслом встряхнуть, эмульсия через какое-то время распадется, и масло опять образует пленку, покинув водную фазу.

Дело в том, что вода в этом примере — равноправный участник рассматриваемой системы, и ее ни в коем случае нельзя упускать из виду. Как известно, свойства воды (даже ее жидкое состояние в нормальных условиях) обусловлены способностью образовывать водородные связи. Каждая молекула воды может формировать до четырех связей с «соседками», но для этого вода должна находиться «в воде». В случае присутствия в ней неполярной поверхности примыкающие к воде молекулы перестают чувствовать себя «свободно»: чтобы сформировать желаемые водородные связи, этим молекулам приходится ориентироваться строго определенным образом, формируя «льдистую» оболочку (рис.2,б) вокруг гидрофобного объекта. Это вынужденное упорядочивание характерно существенным падением энтропии системы масло—вода, что и вынуждает гидрофобные молекулы агрегировать между собой, уменьшая площадь кон-

такта с полярной средой, а значит, и невыгодное снижение энтропийного фактора [4]. Фактически это вода заставляет масло сливаться в одну большую каплю или пятно, реализуя диалектический принцип «подобное к подобному».

Такое взаимодействие полярной и неполярной фаз носит название гидрофобного эффекта. Это явление заставляет молекулы детергентов образовывать в растворе мицеллы, липиды — формировать моно- и бислои. Последние могут замыкаться на себя с образованием пузырьков (липосом) или биологических мембран, окружающих клетку (рис.3). Найдены и более сложные формы липидного полиморфизма, например кубическая липидная фаза, широко используемая в структурных исследованиях мембранных белков.

«В глубь» гидрофобного эффекта

В случае биологических молекул гидрофобный эффект играет особую роль, поскольку он формирует биомембраны, без которых невозможна жизнь*, а также вносит определяющий (до 90% всей работы) вклад в сворачивание белковых молекул, боковые цепи аминокислотных остатков которых могут иметь различную природу: гидрофобную или гидрофильную. Наличие столь разных сущностей в пределах одной линейной молекулы дает все разнообразие форм и выполняемых функций, которое наблюдается у белков.

Однако в субмолекулярных масштабах гидрофобный эффект проявляется иначе, нежели в случае протяженной неполярной поверхности или целой ложки масла: по-видимому, кластер гидрофобных частиц будет стабильным, только если его размер превышает пороговое значение (≈ 1 нм); иначе он будет разрушен тепловым движением молекул [5]. Моделирование молекулярной динамики (МД) показывает различие в структуре «чистой» воды и воды вблизи маленькой (< 1 нм) и большой ($>> 1$ нм) гидрофобных частиц. Если в первых двух случаях каждая молекула воды может образовывать до четырех водородных связей, то в случае крупной гидрофобной частицы такая возможность отсутствует и молекулам воды приходится выстраиваться в «льдистую» оболочку вокруг этой частицы (рис.2, 4).

Этот же «пороговый размер» был подтвержден и в эксперименте по определению вклада гидрофобного эффекта в сворачивание полимерной цепочки в зависимости от размера боковой группы мономера и температуры. Регистрация свободной энергии сольватации осуществлялась с помощью атомно-силового микроскопа, «расплетавшего» полимерную молекулу по одному звену за шаг [6]. Интересно, что пограничное значение 1 нм

* Подробнее см.: Чугунов А.О., Полянский А.А., Ефремов Р.Г. Липидный фундамент жизни // Природа. 2012. №3. С.3–12.

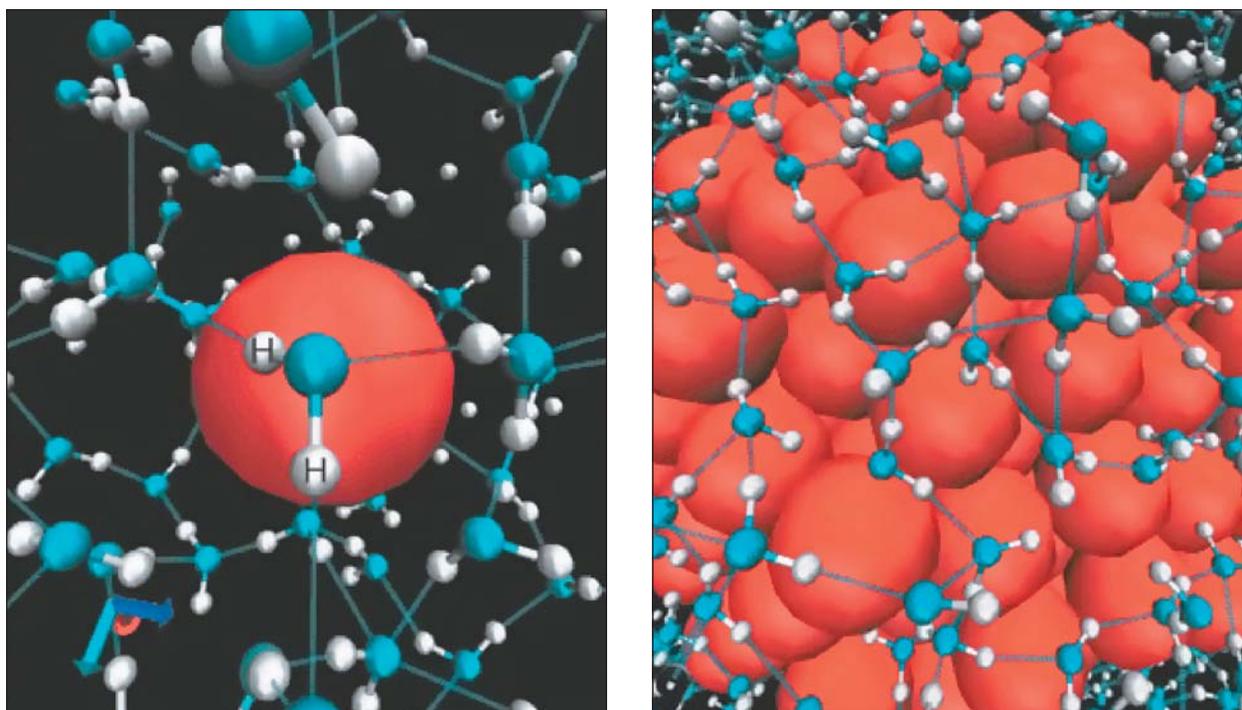


Рис.4. Различная конфигурация молекул воды вблизи маленькой (слева) и большой (справа) гидрофобных частиц (в обоих случаях изображены красными сферами) [5]. Согласно данным МД, частицы размером менее 1 нм могут быть легко окружены водой без ограничения ее «свободы» и способности образования водородных связей. В случае более крупных частиц, чтобы образовать водородную связь, пограничной молекуле воды приходится особым образом ориентироваться относительно гидрофобной поверхности, что приводит к упорядочиванию целого водяного слоя (или нескольких) и снижению энтропии растворителя. При этом среднее число водородных связей на молекулу воды уменьшается до трех. Интересно, что здесь меняется и характер зависимости энергии сольватации частицы от ее размера: до 1 нм энергия зависит от объема частицы, а выше этого порога — от площади ее поверхности.

примерно совпадает с размером крупных боковых цепей аминокислотных остатков, определяющих фолдинг молекулы белка.

Поскольку гидрофобный эффект носит энтропийный характер, его роль в различных процессах (т.е. вклад в свободную энергию) зависит от температуры. Любопытно, что этот вклад максимален при нормальных условиях (температуре и давлении) жизни. (Замечу, что основной биологический растворитель — вода — при тех же условиях находится вблизи равновесия между жидкостью и паром.) Все это наводит на мысль: оптимальные для существования организмов условия близки к фазовым переходам и точкам равновесия, видимо, потому, что это обеспечивает возможность особенно надежного контроля и тонкого управления такими, казалось бы, «инертными» вещами, как структура мембран и белковых молекул.

Исследования последних лет еще сильнее подчеркивают роль воды как в гидрофобном эффекте, так и в межмолекулярном распознавании (например, при связывании ферментом своего субстрата или рецептором — распознаваемого им лиганда) [7]. В активном центре белка, как правило, присутствуют «связанные» (а значит, упорядочен-

ные) молекулы воды. При проникновении лиганда в сайт связывания на поверхности белка вода «освобождается», что дает положительный вклад в энтропию (рис.5); однако энтальпийная компонента изменения свободной энергии может быть как отрицательной, так и положительной*. С помощью калориметрического титрования и молекулярного моделирования была установлена термодинамическая картина связывания ферментом карбоангидразой множества лигандов, сходных по структуре, но отличающихся по размеру гидрофобных групп [8]. Анализ показал, что вклад энтальпии и энтропии в свободную энергию Гиббса в каждом случае может быть индивидуальным, и невозможно заранее сказать, какой процесс будет играть решающую роль. Абсолютно точно понятно лишь, что структура и динамика ближай-

* Изменение свободной энергии Гиббса, являющейся основной движущей силой химических процессов, вычисляют по уравнению $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$. Отрицательный знак ΔG говорит о том, что самопроизвольное протекание реакции «разрешено» с термодинамической точки зрения. Как видно из формулы, возможно два пути реализации самопроизвольных процессов: с падением энтальпии или возрастанием энтропии.

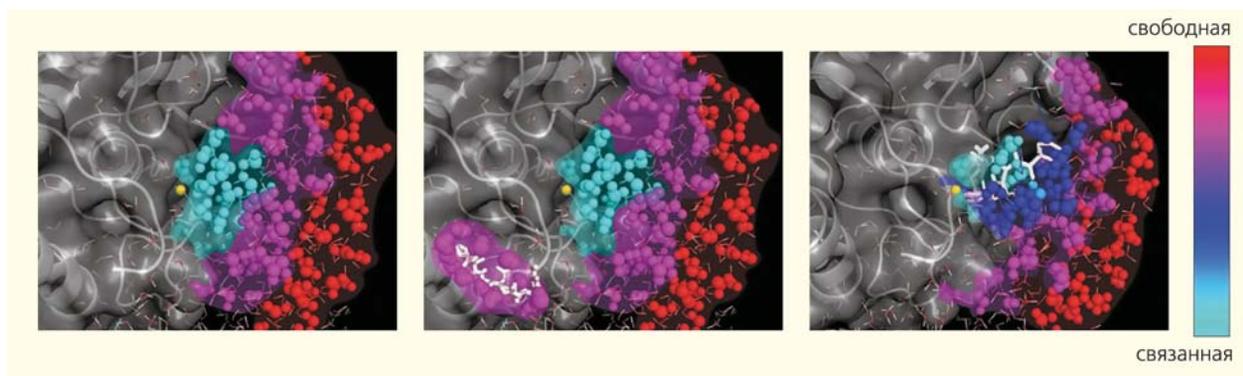


Рис.5. Динамика ближайших слоев растворителя играет важную роль во взаимодействии фермент—субстрат. Пример цинковой металлопротеиназы (фермент показан серым, ион цинка — желтым), ее субстрата и растворителя (подвижность молекулы воды изображена цветом) [15]. Слева: динамика свободного фермента показывает наличие в активном сайте «связанной» воды. В центре: субстрат на ранних стадиях связывания (когда он еще не занимает сайт связывания) уже создает собственную сферу связанной воды. Справа: специфическое взаимодействие фермент—субстрат образует характерную картину подвижности молекул растворителя.

ших к активному сайту слоев молекул воды играет в межмолекулярном распознавании такую же важную роль, как и соответствие лиганда рецептору, что привносит новый уровень сложности в «классические» модели взаимодействия двух молекул типа «ключ—замок» или «рука—перчатка».

Роль гидрофобного эффекта в фолдинге белка

Фолдингом (сворачиванием) белка называют процесс обретения полипептидной цепью присутствующей ей трехмерной конформации (нативной формы). По общепринятым представлениям о физике белка, нативная конформация обладает наименьшей свободной энергией среди потенциально возможных, благодаря чему этот процесс является самопроизвольным. Несмотря на то что фолдинг направляется совокупностью, вроде бы, хорошо изученных физических законов, промоделировать его на компьютере в общем случае пока невозможно. И не в последнюю очередь — благодаря гидрофобному эффекту, который играет в процессе сворачивания цепочки решающую роль, но при этом не сводится к суммированию парных взаимодействий, на чем основаны современные методы эмпирических силовых полей.

Сворачивание гомо- и гетерополимеров можно разделить на три стадии (рис.6):

1. Если начинать с вытянутой цепочки, то первой стадией будет энтропийное сворачивание — прямое следствие второго начала термодинамики. Дело в том, что полностью распрямленная полипептидная цепь имеет нулевую энтропию, что мгновенно «исправляется» статистическими силами, превращающими нить в «статистический клубок».

2. В конформации статистического клубка гидрофобные боковые остатки сближаются в пространстве и агрегируют под влиянием гидрофобного эффекта. Это подтверждено наблюдением за принципами трехмерной упаковки белковых глобул: внутри находится «ядро» из гидрофобных остатков, а на поверхности молекулы располагаются полярные и заряженные аминокислотные остатки. Получающаяся на этой стадии форму называют расплавленной глобулой.

3. В случае биополимеров этим дело не кончается: специфические взаимодействия между сближенными в пространстве остатками делают упаковку еще более плотной (истинной глобулой). Свободная энергия при этом испытывает существенное падение, и это часто считают критерием «хорошо упакованной» структуры.

Раньше третья стадия считалась непременно признаком функционального белка. В последнее время все больше внимания уделяется так называемым недоупорядоченным белкам, у которых отсутствует четко заданная пространственная форма и фактически нет стадии образования специфических контактов. (К слову, доля гидрофобных остатков в них существенно меньше по сравнению с глобулярными белками.) Возможно, это позволяет им принимать участие в весьма тонкой регуляции клеточных процессов и взаимодействовать в живой клетке не с одним белком или лигандом, а с десятками или даже сотнями структурно различных молекул-партнеров.

Определяющую роль гидрофобный эффект играет и в фолдинге мембранных белков (МБ), исполняющих множество жизненно важных функций от транспорта молекул и ионов через мембрану до рецепции и распознавания клетками друг друга. Поскольку большая часть МБ погружена в гидрофобный бислой мембраны, строение трансмембранного (ТМ) домена существенно от-

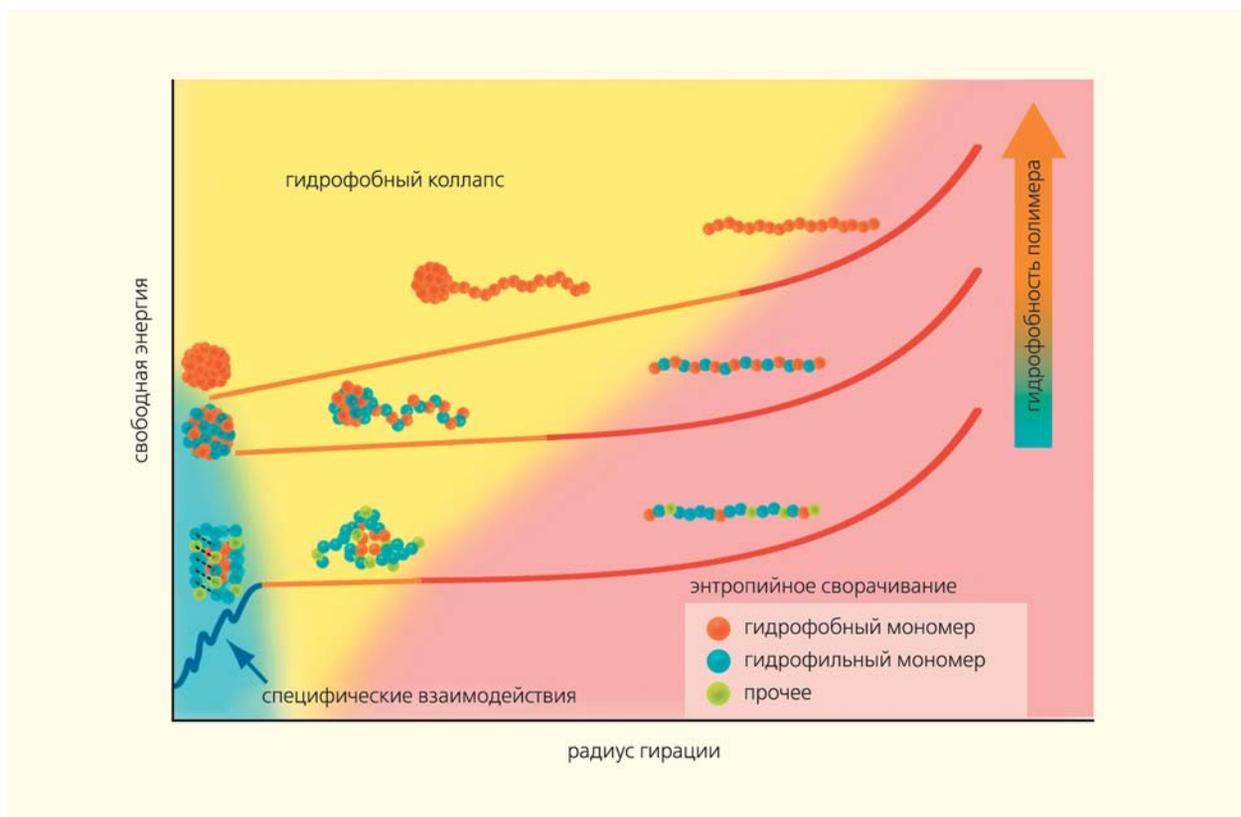


Рис.6. Роль гидрофобного коллапса в сворачивании трех полимерных цепей с различной гидрофобностью составляющих мономеров: гидрофобного полимера, гидрофобно-гидрофильного сополимера и глобулярного белка (сверху вниз) [6]. Их свободная энергия отложена в зависимости от радиуса гирации, показывающего компактность упаковки цепи. Любая линейная цепочка из полностью растянутого состояния быстро скручивается в статистический клубок. Пространственная близость неполярных боковых цепей приводит к гидрофобному коллапсу клубка и образованию расплавленной глобулы. В случае белков эволюционно подобранные специфические контакты между боковыми цепями сближенных аминокислотных остатков (такие, как водородные связи или электростатические взаимодействия) дополнительно снижают свободную энергию и упаковывают белок до плотной глобулы. Гидрофобные полимеры не имеют таких взаимодействий, и поэтому их сворачивание останавливается на стадии статистического клубка.

личается от упаковки растворимых глобулярных белков. ТМ-сегменты у МБ существенно гидрофобнее, причем гидрофобные боковые цепи находятся не только внутри белка (как в случае глобулярных белков), но и на поверхности, где белок контактирует с углеводородными цепями липидных молекул.

Важно, что гидрофобность вступает в дело еще до того, как белок окажется на своем рабочем месте (т.е. в мембране). МБ в процессе рибосомального синтеза попадают не в цитоплазму, как глобулярные белки, а в транслокон — довольно сложную молекулярную машину, построенную в виде канала и отвечающую сразу и за секрецию белков, и за доставку МБ внутрь мембран. Оказалось, что транслокон может «чувствовать» гидрофобность пропускаемого через него фрагмента белка и при достижении некоторого порога гидрофобности «выплывает» этот фрагмент не «вперед» (через канал во внеклеточное пространство), а «вбок» (через стен-

ку канала) — прямо в мембрану. Так, фрагмент за фрагментом, мембранные белки встраиваются в мембрану, и поэтому N-конец у них всегда находится во внеклеточной области, а где будет C-конец — зависит от количества ТМ-сегментов.

В изящном эксперименте на транслоконе Sec61 эндоплазматического ретикулума была установлена «биологическая шкала гидрофобности», которая ставит каждому аминокислотному остатку соответствующее значение гидрофобности [9]. Что интересно, в общих чертах эта шкала совпадает с ранее установленными физико-химическими шкалами, поэтому можно транслокону приписать роль сенсора гидрофобного взаимодействия.

Итак, клетка может «измерять» гидрофобность с помощью транслокона, а в лаборатории это свойство можно грубо оценить по характеру взаимодействия с водой. Но можно ли гидрофобность рассчитать теоретически и включить этот расчет в практически важные задачи?

Как рассчитать гидрофобность теоретически?

Напомним, что гидрофобный эффект есть фактически одно из проявлений второго начала термодинамики, так что рассчитать его аккуратно, пожалуй, ничуть не легче, чем смоделировать всю систему целиком, причем на физически корректном уровне. Другими словами, «гидрофобные взаимодействия» ни в какой мере не сводятся к парным контактам, таким как притяжение или отталкивание двух зарядов или взаимодействие между донором и акцептором водородной связи. Единственный теоретически верный путь — анализ огромного числа микросостояний в термодинамических ансамблях, что на практике сделать довольно сложно.

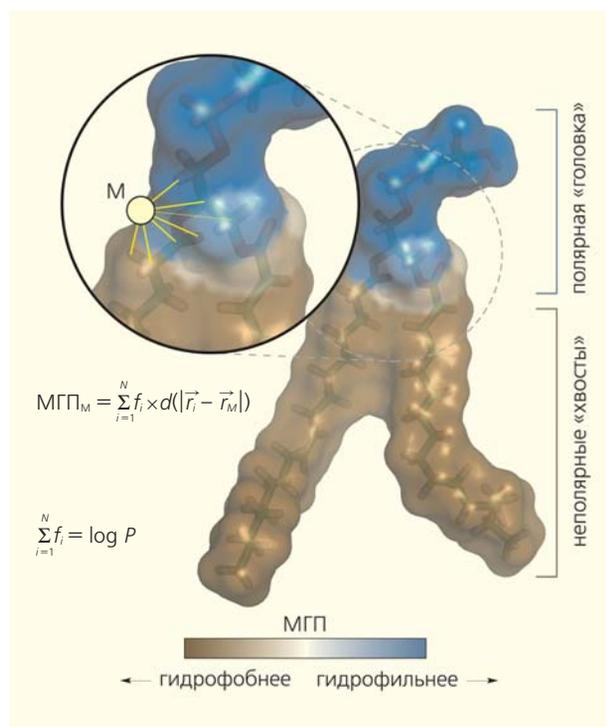


Рис.7. Молекулярный гидрофобный потенциал (МГП) [11]. Смысл подхода МГП, позволяющего рассчитывать пространственное распределение гидрофобных/гидрофильных свойств, заключается в установлении эмпирической системы атомных констант гидрофобности (f_i), технически аналогичных парциальным зарядам. Сумма этих констант по всем атомам даст оценку коэффициента гидрофобности $\log P$ (где P — коэффициент распределения вещества между водой и октанолом), а вычисление «потенциала» от системы точечных «гидрофобных зарядов» с учетом затухания в пространстве (по закону $d(r)$, равному, например, $1/r$) позволяет представить себе распределение гидрофобности на молекулярной поверхности. На рисунке изображены гидрофобные свойства основного фосфолипида плазматической мембраны эукариот — пальмитоилолеилфосфатидилхолина.

Однако даже очень приблизительная оценка гидрофобных и гидрофильных свойств молекул все же востребована в молекулярном моделировании и его приложениях (например, биотехнологических или промышленных). Обычно здесь ориентируются на характеристику, описывающую гидрофобность молекулы целиком, — коэффициент распределения (P , от англ. partitioning — делящий на части, разделение) этого вещества между водой (полярной фазой) и неполярной фазой (например, бензолом или *n*-октанолом). Дело в том, что этот параметр, в отличие от всех остальных термодинамических характеристик, довольно просто измерить, определив концентрацию изучаемого вещества в воде и неполярной среде (которые, как мы помним, почти не смешиваются) и разделив одно на другое. За коэффициент гидрофобности принимают логарифм этого коэффициента — $\log P$.

На предсказание этого коэффициента направлено несколько эмпирических методов, сводящихся к тому, чтобы на основе «обучающего набора» веществ с точно измеренным $\log P$ определить вклады отдельных фрагментов молекулы или даже отдельных ее атомов (учитывая химическое окружение), чтобы потом рассчитать гидрофобность для неизвестных молекул на основе вычисленных фрагментарных или атомных констант гидрофобности [10]. Фактически это попытка поставить каждому атому в молекуле соответствующий «гидрофобный заряд», хотя нужно иметь в виду, что это лишено физического смысла. Суммирование этих констант для всех атомов в молекуле даст искомое значение $\log P$, а применение подхода, аналогичного расчету электростатического потенциала в точках пространства ($\phi \sim q/r$), дало начало зарекомендовавшему себя в молекулярном моделировании методу молекулярного гидрофобного потенциала (МГП [11]; рис.7). Расчетам МГП посвящена программа PLATINUM ([12])*.

Расчет МГП позволяет оценить эффективное значение гидрофобности того или иного фрагмента молекулы и наглядно визуализировать гидрофобные свойства ее поверхности, а это, в свою очередь, может рассказать о механизмах межмолекулярного взаимодействия и указать путь к направленному изменению свойств молекул или способа их взаимодействия между собой. Так, с помощью пространственного картирования гидрофобных свойств коротких α -спиральных антимикробных пептидов (АМП) удалось выявить, что этим молекулам присуща амфифильная природа — когда одна сторона спирали гидрофобная, а другая — полярная и положительно заряженная. Этот мотив хорошо заметен на картах «разверток» МГП, он подчеркивает механизм взаимодействия пептида с мембраной и антимикробного действия (рис.8). С помощью таких

* <http://model.nmr.ru/platinum/>

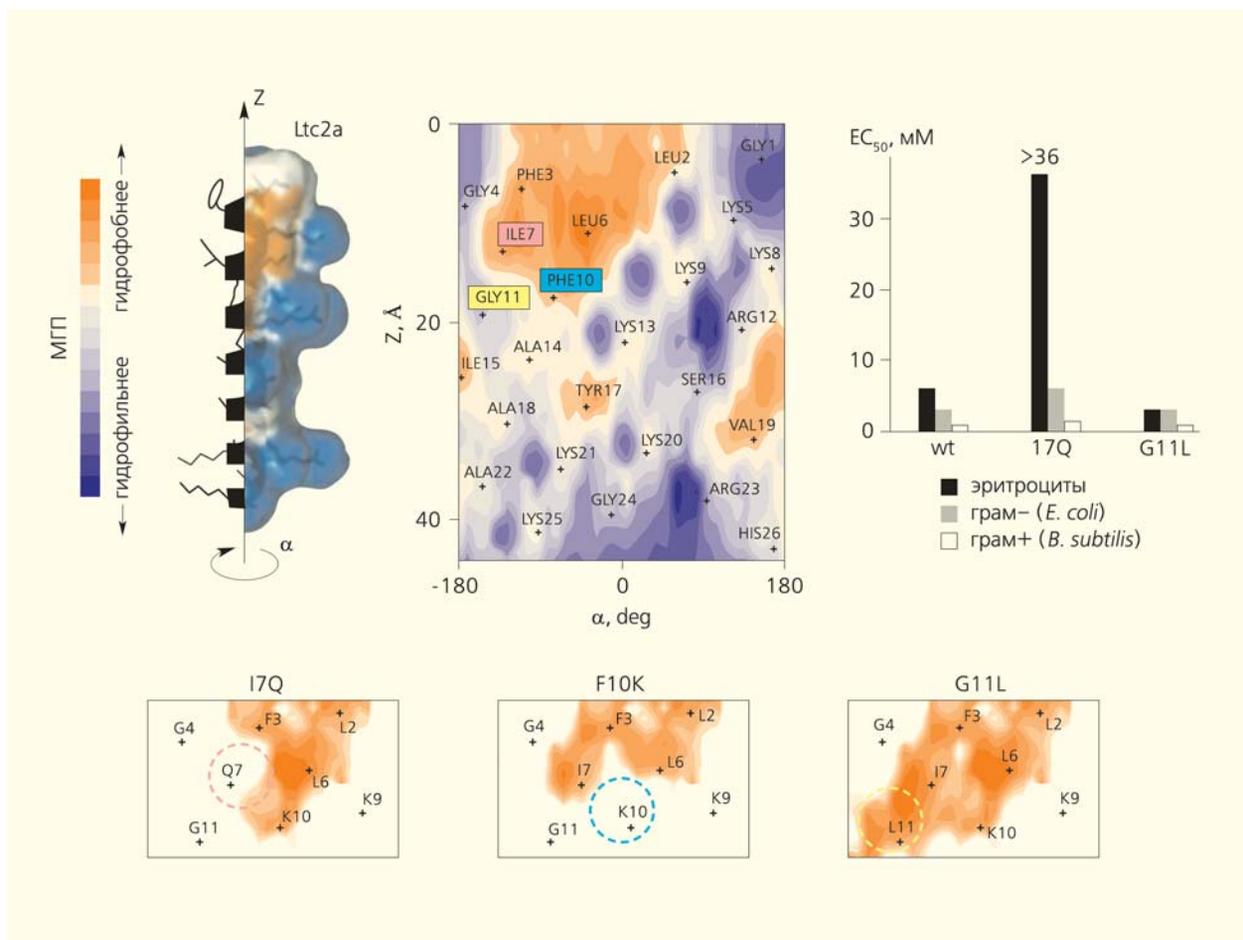


Рис.8. Дизайн полезных свойств в антимикробном пептиде латарцине 2а (Ltc2a) [16]. В верхнем ряду слева показано пространственное строение Ltc2a и распределение гидрофобных свойств (см. рис.7) на его поверхности. В центре приведена карта-«развертка» МГП в цилиндрических координатах (α ; Z). На ней заметен четкий амфифильный паттерн, определяющий взаимодействие пептида с мембраной клеток. В верхнем ряду справа показана цитолитическая активность пептида: он достаточно эффективно убивает как бактерии («грам+», «грам-»), так и клетки животных («эритроциты») [столбец «wt»]. Задача стояла следующая: сохранив антимикробную активность, устранить гемолитическую активность (т.е. создать прототип бактерицидного лекарства). Было сделано предположение, что изменение характера гидрофобного «пятна» на карте МГП изменит взаимодействие с мембранами бактерий и эритроцитов по-разному и задачу удастся выполнить. Проверили три пептида, в которые ввели точечные мутации: Ile7 \rightarrow Gln, Phe10 \rightarrow Lys и Gly11 \rightarrow Leu. Соответствующие изменения гидрофобного паттерна показаны на трех фрагментах карт внизу. Один мутант — Ile7 \rightarrow Gln — обладал нужными активностями: высокой бактерицидной и низкой гемолитической.

карт удалось модифицировать природный АМП латарцин, создав аналоги, которые обладают высокой антибактериальной активностью, но не разрушают эритроциты, а значит, могут стать потенциальным прототипом лекарственного препарата (см. рис.8).

Учет гидрофобных свойств биомолекул находит применение и в других областях молекулярного моделирования — в частности, при предсказании положения в аминокислотной последовательности трансмембранных участков или уточнении пространственной структуры комплексов рецептор—лиганд на основе принципа гидрофобного соответствия.

Несмотря на сложную физическую природу феномена гидрофобности, даже весьма поверхностный его учет в молекулярном моделировании может принести пользу. Из приведенного примера видно, что пространственное картирование свойств молекул, рассчитанное с помощью методики МГП, позволяет провести связь между структурой молекулы пептида и его активностью, а это — давняя мечта химиков, биологов и фармакологов. Умение находить такую связь дает возможность рационально конструировать требуемые свойства в молекулах, что, безусловно, будет востребовано и в фундаментальных исследованиях, и в биотехнологиях, и в медицине [13].

И снова слово о воде

Пристальный взгляд на гидрофобный эффект позволяет понять, что речь идет фактически о статистическом поведении большого числа молекул, которое описывается законами термодинамики и статистической физики. Но интереснее здесь другое — мы в очередной раз убеждаемся в уникальности такого простого, казалось бы, вещества, как вода. Вода и сама по себе обладает множеством удивительных качеств [14], но в роли биологического растворителя она не имеет равных. При взаимодействии с другими молекулами у воды меняются динамика и структура, что заставляет измениться всю систему целиком. Мы наблюдаем это, когда изучаем самоорганизацию амфифильных молекул

в бислои и везикулы — в столь сложные формы их «заставляет» собираться именно вода.

Роль воды сложно переоценить и в жизни главных биологических «машин» — белков. Их сворачивание из линейной цепочки в плотную глобулу, в которой каждый атом знает свое место, — тоже заслуга воды. А значит, она заслуживает также титул одной из самых биологических молекул, хотя по химической классификации это неорганическое вещество.

Недаром многие шарлатаны и фантазеры надеются воду чуть ли не магическими свойствами, да и «обычных» ученых ее «великая тайна» волнует не меньше. Но где вода — там и гидрофобный эффект, все еще скрывающий много неизученного и просто непонятого. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 07-04-01514-а, 10-04-01217-а и 11-04-01606-а) и Совета по грантам Президента РФ (стипендия СП-813.2012.4).

Литература

1. *Quéré D.* Surface chemistry: Fakir droplets // *Nature Materials*. 2002. №1. P.14–15.
2. *Кужушкин Ю.Н.* Мыла и моющие средства // *Химия вокруг нас*. М., 1992.
3. *Эткинс П.* Порядок и беспорядок в природе. М., 1987.
4. *Kauzmann W.* Some factors in the interpretation of protein denaturation // *Adv. Prot. Chem.* 1959. №14. P.1–63.
5. *Candler D.* Interfaces and the driving force of hydrophobic assembly // *Nature*. 2005. №437. P.640–647.
6. *Li I.T., Walker G.C.* Signature of hydrophobic hydration in a single polymer // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2011. №108. P.16527–16532.
7. *Ball P.* More than a bystander // *Nature*. 2011. №478. P.467–468.
8. *Snyder P.W., Mecinovic J., Moustakas D.T. et al.* Mechanism of the hydrophobic effect in the biomolecular recognition of arylsulfonamides by carbonic anhydrase // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2011. №44. P.17889–17894.
9. *Hessa T., Kim H., Biblmaier K. et al.* Recognition of transmembrane helices by the endoplasmic reticulum translocon // *Nature*. 2005. №433. P.377–381.
10. *Ghose A.K., Viswanadhan V.N., Wendoloski J.J.* Prediction of hydrophobic (lipophilic) properties of small organic molecules using fragmental methods: an analysis of ALOGP and CLOGP methods // *J. Phys. Chem. A*. 1998. №102. P.3762–3772.
11. *Efremov R.G., Chugunov A.O., Pyrkov T.V. et al.* Molecular lipophilicity in protein modeling and drug design // *Curr. Med. Chem.* 2007. №14. P.393–415.
12. *Pyrkov T.V., Chugunov A.O., Krylov N.A. et al.* PLATINUM: a web tool for analysis of hydrophobic/hydrophilic organization of biomolecular complexes. *Bioinformatics*. 2009. V.25. №9. P.1201–1202.
13. *Петрянов И.В.* Самое необыкновенное вещество в мире. М., 1998.
14. *Nelson D.L., Cox M.M.* *Lehninger Principles of Biochemistry*. 2004., Lehniger.
15. *Grossman M., Born B., Heyden M. et al.* Correlated structural kinetics and retarded solvent dynamics at the metalloprotease active site // *Nat. Struct. Mol. Biol.* 2011. №18. P.1102–1108.
16. *Polyansky A.A., Vassilevski A.A., Volynsky P.E. et al.* N-terminal amphipathic helix as a trigger of hemolytic activity in antimicrobial peptides: a case study in laticins // *FEBS Lett.* 2009. №583. P.2425–2428.

Фотокристаллография

Л.А.Асланов

Острая нужда в новых материалах существовала всегда и никогда не иссякнет, ведь они — основа технического прогресса. Эмпирический поиск веществ с заданными характеристиками — процедура малоэффективная, поэтому с каждым годом усиливается акцент на фундаментальных исследованиях, выявляющих взаимосвязи состава, структуры и свойств материалов разного назначения. Среди многообразных методов определения структур веществ важную роль играет монокристалльный рентгеноструктурный анализ, который позволяет расшифровать атомное строение объекта без априорных допущений (в отличие от всех других методов). При дифракции рентгеновских лучей рассеивающим «агентом» выступает электронная плотность вещества, и по дифракционным данным удастся восстановить ее пространственное распределение, в котором отчетливо выявляются атомы в виде сгустков электронной плотности, потому что электронная оболочка атома притягивается его ядром, сохраняя у тяжелых атомов сферическую форму (валентная электронная оболочка всех атомов несколько искажена валентными связями, но у тяжелых атомов количество электронов на внутренних оболочках, обладающих сферической симметрией, превышает число валентных электронов). Как известно, возможных энергетических состояний электронов го-



Леонид Александрович Асланов, доктор химических наук, профессор химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — кристаллография, структурная и неорганическая химия.

раздо больше, чем самих частиц. Не меняется ли структура, если электроны перераспределяются по ним?

Пополнение в семействе дисциплин

В 1997 г. появился новый термин — «фотокристаллография», который отразил объединение в самостоятельную область немногочисленных к тому времени попыток кристаллографов исследовать строение материалов в фотовозбужденном состоянии. Разумеется, ее породил не просто академический интерес — эта задача возникла в связи с быстрым ростом круга химических веществ, применяемых при изготовлении светодиодов, цветных и монохроматических дисплеев для телевизоров, компьютеров, мобильных телефонов, авионики, панелей управления автомобилей и т.д. По оценкам специалистов, объем продаж в данной области к 2015 г. вырастет до 1 трлн долл. США. Кроме того, для регистрации изображений необходимы фоточувствительные материалы нового поколения. Естественно, чтобы достичь совершенства в широкомасштабном производстве, потребовалось знать строение используемых веществ в условиях их эксплуатации, а это вызвало к жизни новое научное направление, которое обзавелось своими обзорами [1–3] и специальными выпусками журналов [4]. Однако фотокристаллография столь молода и сложна, что в ее активе немногим более полусотни расшифрованных структур — на четыре порядка меньше количества кристаллических структур малых молекул, расшифрованных в обычных условиях, и даже на два порядка меньше, чем число белковых структур, известных к настоящему времени.

Поглощение света материалами может перевести молекулу в возбужденное состояние, если энергия кванта света равна или

© Асланов Л.А., 2013

превышает разность энергий заселенного и одного из вышележащих пустых энергетических уровней. В результате возбуждения электроны перераспределяются по энергетическим уровням, что может приводить к изменениям прочности химических связей (вплоть до их разрыва), вызывающим либо твердотельные химические реакции, либо обратимые преобразования структур молекул. В первом случае материал может быть использован для регистрации изображений, а во втором фотовозбуждение порождает в кристалле локальные возмущения, длящиеся доли секунды, — кандидаты для применения в фотонике (для создания оптических переключателей, люминофоров и т.д.). Если материалы с локальным фотовозбуждением переходят в исходное (основное) состояние из возбужденного посредством излучения энергии, они представляют интерес для оперативной памяти оптоэлектронных компьютеров с потенциально очень высокими скоростями действия при минимальных затратах энергии. Такие вещества обладают разными временами релаксации, и знание структурных превращений, сопровождающих фотовозбуждение, обеспечит правильный выбор стратегии поиска материалов с оптимальными свойствами.

Материалы, в которых протекают фотоиндуцированные химические реакции (вследствие чего материалы могут быть полезны для регистрации изображений), систематически исследовались Ю.Охаши и его группой. Были обнаружены образование гетероциклов, перенос протона, возникновение центров асимметрии и инверсия хиральности, замещение лигандов, изомеризация комплексов и т.д. Но все перечисленные реакции проводились препаративно, т.е. вещество освещалось на лабораторном столе, а затем структура кристалла, претерпевшего фотохимическую реакцию, изучалась методом монокристаллической дифрактометрии без воздействия света на кристалл. Полученные результаты при всей их важности не подпадают под определение «фотокристаллография» и здесь рассматриваться не будут.

В фотокристаллографии преимущественно используются монокристаллические методы исследования, которые имеют дело с упорядоченными объектами, рассеивающими излучение в строго определенных симметрией решетки направлениях и дающими отдельные точечные отражения (рефлексы). Правда, само слово «монокристаллические» в данном случае относится к типу дифракционного эксперимента (и, соответственно, используемого дифрактометра) и обозначает, что в данном случае задействовано монохроматическое рентгеновское излучение. Сразу следует обратить внимание на то обстоятельство, что локальные фотовозбуждения, как правило, занимают при комнатной температуре в среднем не более 20% объема кристалла, а следовательно, регистрируемая дифракционная картина состоит из суммы двух ди-

фракционных картин — фотовозбужденного и невозбужденного кристаллов. При понижении температуры образца объемная доля фотовозбужденной фракции может несколько увеличиваться, но редко превышает 30%. Из-за наложения двух дифракционных картин друг на друга приходится один кристалл исследовать дважды — с фотовозбуждением и без него, а затем брать разность карт электронной плотности из обоих экспериментов. На ней и проявятся изменения устройства кристалла, происходящие под воздействием света. В ходе уточнения кристаллической структуры определяются заселенности атомных позиций как для возбужденных молекул, так и для невозбужденных (сумма заселенностей для каждого атома должна быть равна единице), что в итоге позволяет определить долю возбужденного объема.

При проведении фотокристаллографических экспериментов важно учитывать три важнейших обстоятельства, связанных с исследуемым образцом: размеры кристалла, уровень ожидаемых фотоструктурных эффектов и оптическое поглощение объекта. Размеры образца определяются компромиссом между интенсивностью рассеиваемых рентгеновских лучей и глубиной проникновения света в материал. Образец должен быть достаточно большим, чтобы зарегистрировать дифракционную картину, позволяющую определить структуру с надлежащей точностью. Но одновременно кристалл должен быть настолько малым, чтобы свет проходил сквозь него полностью. В противном случае лазерный луч, целиком поглощаясь в кристалле, нагревает кристалл и «выедает» его на облучаемой поверхности или даже разрушает кристалл из-за возникновения механических напряжений, вызванных градиентом температур.

Необходимо также принимать во внимание возможный эффект оптического отбеливания, т.е. возрастающее изменение коэффициента оптического поглощения по мере углубления светового луча в кристалл. В результате поглощение света в кристалле не подчиняется закону Ламберта—Бера, определяющему ослабление параллельного монохроматического пучка света при распространении его в поглощающей среде. Эффект оптического отбеливания обычно наблюдается в стробоскопических экспериментах, потому что короткий оптический импульс может порождать оптические «шоковые» волны.

Молекулярные кооперативные эффекты тоже могут влиять на глубину проникновения светового луча в кристалл, причем неопределенным образом. Это случается тогда, когда фотоструктурные изменения молекул или их некоторой локальной совокупности провоцируют такие же изменения в соседних молекулах. Использование соединений гость-хозяин (о них речь пойдет ниже) позволяет избежать таких осложнений.

Для эффективного фотовозбуждения молекул в кристаллах целесообразно выбрать свет с дли-

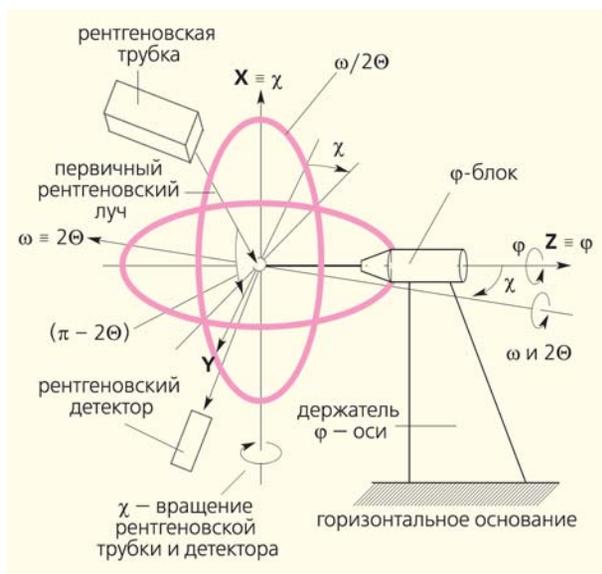


Рис.1. Оси вращения дифрактометра РМД [6].

ной волны, соответствующей полосе поглощения кристалла. Это приводит к тому, что свет поглощается прежде всего в поверхностном слое, и последний меняет свое положение относительно осей кристаллической решетки (если используются обычные четырехкружные дифрактометры). При исследовании ряда процессов, например, перестройки структуры при возникновении фотovoltaического эффекта, это недопустимо. Вот почему в России был сконструирован, построен и испытан специальный четырехкружный дифрактометр РМД, в котором относительное положение возбуждающего кристалл луча света и самого кристалла в процессе регистрации дифракционной картины неизменно [5] (рис.1). В стандартных же дифрактометрах образец в процессе регистрации рентгеновских отражений поворачивается к возбуждающему лучу разными гранями.

Самыми простыми оказываются эксперименты с постоянным освещением. Детали рассмотрены в обзоре [3], а для иллюстрации мы рассмотрим примеры конкретных исследований.

Освещение переключает спин!

Особым направлением фотокристаллографии стало изучение фотовозбужденных фазовых переходов, сопровождающихся изменением спинового состояния центрального в комплексе атома (конечно, если таковой имеет нескомпенсированный спин, — как атом железа или никеля). Подобная биустойчивость (занятие одного или второго состояния — с большим и меньшим спинами) под воздействием света обещает создание спинтронных запоминающих устройств для ЭВМ. Так, структуры кри-

сталла комплексного соединения $[\text{Fe}(\text{mtz})_6](\text{BF}_4)_2$ (где mtz — метилтетразол) были исследованы при температурах вплоть до 10 К в темноте и при освещении зеленым светом ($\lambda = 514 \text{ нм}$) аргонового лазера и красным светом ($\lambda = 820 \text{ нм}$) светодиода в течение 20 мин, после чего кристалл пребывал в неизменном высокоспиновом состоянии в темноте 24 ч, пока проводились измерения интенсивностей отражений монокристалльным дифрактометром. Расстояния между атомами железа и азота (последние входят в состав молекулы метилтетразола) в высокоспиновом состоянии комплекса были на 9% длиннее по сравнению с низкоспиновым [7]. Комплексы другого соединения — $[\text{Fe}(\text{phen})_2(\text{NCS})_2]$ (где phen — 1,10-фенантролин) — под воздействием света ($\lambda = 647 \text{ нм}$) на кристаллы переходят из низкоспинового в высокоспиновое состояние при температуре 30 К, при этом все расстояния Fe-N увеличиваются в среднем на 4% [8]. Структуры комплексов $[\text{Fe}(\text{L}3)_2][\text{ClO}_4]_2$ и $[\text{Fe}(\text{L}4)_2][\text{ClO}_4]_2$ (где L3 = 2,6-ди(пиразол-1-ил)-4-(гидроксиметил)пиридин, L4 = 2,6-ди(4-метилпиразол-1-ил)пиридин) были исследованы при температуре 30 К после облучения He-Ne-лазером ($\lambda = 632.8 \text{ нм}$) в течение 10 мин и сопоставлены с их темновыми структурами. Оказалось, что все связи Fe-N в результате перехода комплексов из низкоспиновых в высокоспиновые состояния удлиняются в среднем на 8% [9]. Возврат к низкому значению спина (и сопутствующее сокращение длин связей) происходит при нагревании кристаллов.

Связевая изомерия координационных соединений как результат различий в методиках химического синтеза изомеров известна давно, но структуры метастабильных изомеров, возникающих под воздействием света, были открыты совсем недавно — методами фотокристаллографии, причем оказалось, что доля превращения изомеров уникально высокая. 86%-е превращение во всем объеме монокристалла нитрокомплексов (группа атомов NO_2 связана с атомом металла посредством атома азота) $[\text{Ni}(\text{Et}_4\text{dien})(\text{NO}_2)_2]$ ($\text{Et}_4\text{dien} = \text{N}, \text{N}', \text{N}'', \text{N}'''$ -тетраэтилдипиридилтетрамин) в нитритокомплексы (NO_2 присоединена к атому металла через атом кислорода) было достигнуто при освещении образца ультрафиолетовым диодом ($\lambda = 400 \text{ нм}$) при 160 К [10]. 92%-е превращение подобного рода было обнаружено в $[\text{Ru}(\text{py})_4\text{Cl}(\text{NO}_2)]^{2+}$ (где py = пиридин) при освещении светом с длиной волны 473 нм при 80 К [11]. 100%-е превращение зафиксировано в $[\text{Ni}(\text{dppe})(\text{NO}_2)\text{Cl}]$ (где dppe = 1,2-бис(дифенилфосфино)этан) [12]. Все нитритокомплексы возвращаются в прежнее состояние при нагревании.

Изомеризация нитрокомплексов в нитритокомплексы столь эффективна, как в приведенных выше случаях, далеко не всегда. Например, в значительно меньших масштабах она наблюдалась в $[\text{Ni}(\text{L})_2(\text{NO}_2)]$, где L = 1-(2-аминоэтил)пиперидин (аер), 1-(2-аминоэтил)морфолин (аем), 1-(2-аминоэтил)пирролидин (аеру) [13]. Кристаллы освеща-

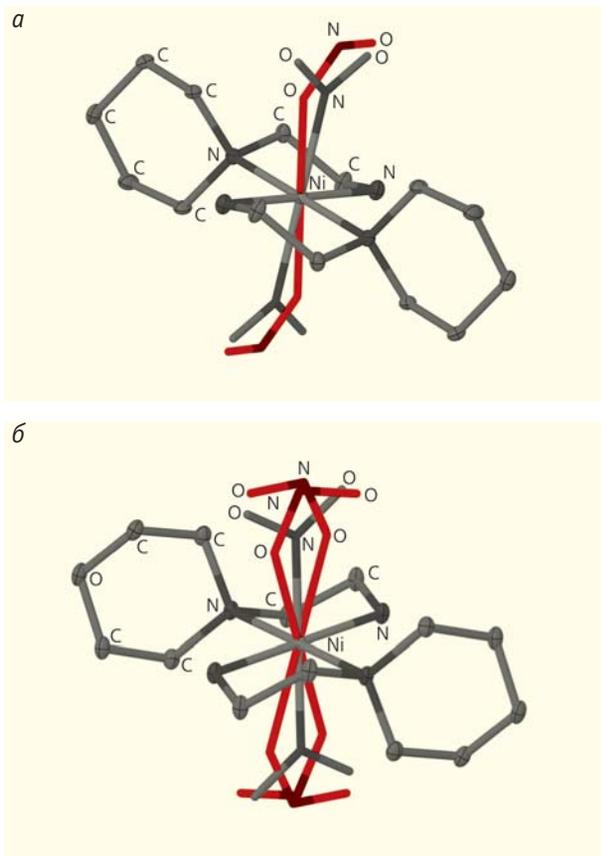


Рис.2. Реально наблюдаемые суперпозиции структур фотовозбужденного (цвет) и невозбужденного состояний $[\text{Ni}(\text{aer})_2(\text{NO}_2)_2]$ при температуре 90 К (а) и $[\text{Ni}(\text{aem})_2(\text{NO}_2)_2]$ при температуре 45 К (б).

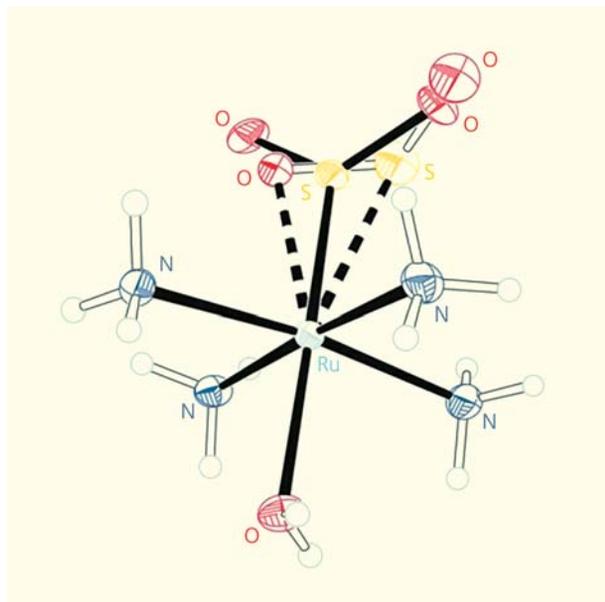


Рис.3. Фотоизомеризация в $[\text{Ru}(\text{SO}_2)(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})](\text{тозилат})_2$. Сплошные линии относятся к основному состоянию; пунктирные — к фотовозбужденному.

лись семью светодиодами, размещенными в 8 мм над образцами. Для целей рентгеновского анализа использовалось синхротронное излучение. Нитроизомер $\text{trans}-[\text{Ni}(\text{aer})_2(\text{NO}_2)_2]$ имеет пурпурный цвет, а нитритоизомер — голубой. Оказалось, что в условиях эксперимента ($\lambda = 470$ нм, 90 К) нитрокомплекс переходил в нитритоизомер лишь на 21% (рис.2а) и оставался стабильным по крайней мере в течение 4 ч, но превращался в исходный изомер при нагревании до 110 К или при охлаждении до 60 К. Нитроизомер $[\text{Ni}(\text{aem})_2(\text{NO}_2)_2]$ трансформировался на 22% в нитритоизомер (рис.2б) в результате облучения ($\lambda = 470$ нм) при температуре 100 К. Нитритоизомер стабилен при температурах 120–30 К, а может быть, и ниже. Нитроизомер $[\text{Ni}(\text{aer})_2(\text{NO}_2)_2]$ на 35% претерпевает превращение в нитритоизомер при освещении зеленым светом ($\lambda = 525$ нм) при температуре 120 К и возвращается в исходное состояние при нагревании до 130 К. Обратите внимание на высокую чувствительность электронных фотоиндуцированных переходов внутри атома никеля к периферийным изменениям состава и структуры комплексов: ближайшее окружение этого атома во всех трех комплексах одинаковое, и комплексы различаются только связанными с первой координационной сферой группами, незначительно влияющими на индивидуальные особенности структур комплексов.

Как выяснилось, связевая изомеризация стабилизирует фотовозбужденные фазовые переходы, сопровождающиеся изменением спинового состояния центрального атома комплекса [14]. В кристаллах одного из полиморфов (D) комплексного соединения $\text{trans}-[\text{Fe}(\text{abpt})_2(\text{NCS})_2]$ (где abpt = 4-амино-3,5-бис(пиридин-2-ил)-1,2,4-триазол) содержится две независимых молекулы. Без освещения атом железа одной из них переходит из низкоспинового состояния в высокоспиновое в интервале температур 5–300 К, а атом железа другой — при температуре около 160 К. В результате облучения кристалла светом ($\lambda = 532$ нм) в течение 15 мин при температурах ниже 36 К атомы железа переходят из низкоспинового состояния в высокоспиновое, но связевой изомеризации роданид-иона NCS^- не наблюдается. Обратный переход в низкоспиновое состояние происходит при температурах выше 36 К. Однако облучение в течение 25 ч при температурах в интервале 36–108 К приводит не только к изменению спинового состояния, но и к связевой изомерии: роданид-ион ориентируется по отношению к атому железа атомом серы, а не азота, причем расстояние Fe-S было столь велико — 3.326(1) Å, — что авторы не исключают образования ионной пары. Это состояние преобразуется в низкоспиновое состояние при температурах выше 108 К.

Связевая изомерия наблюдается под воздействием света даже в тех комплексных соединениях, в которых она никогда не подозревалась [15]. Ме-

тодами фотокристаллографии показано, что в нитропрусиде натрия $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ атомы азота и кислорода лиганда NO под воздействием света меняются местами: без освещения лиганд присоединен к атому железа атомом азота, а при освещении — атомом кислорода.

Более сложный случай связевой изомерии отмечен в кристаллах $[\text{Ru}(\text{SO}_2)(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})](\text{тозилат})_2$, освещавшихся монохроматическим светом ($\lambda = 532$ и 488 нм) или белым светом ($400\text{—}800$ нм) при температуре 100 К [1]. В этих условиях лиганд SO_2 , связанный в основном состоянии с центральным атомом Ru через атом серы, меняет эту связь на трехцентровую, в которой атомы серы и кислорода лиганда SO_2 в равной степени связаны с центральным атомом комплекса (рис.3). При температуре 28 К фотовозбуждение кристаллов указанного соединения еще раз меняет координацию SO_2 лиганда, который оказывается связанным с атомом Ru атомом кислорода.

Под вспышками света и рентгена

Люминесцентные материалы требуют для своего исследования стробоскопических методов из-за очень коротких времен релаксации, при этом световые возбуждающие импульсы синхронизируются с импульсами рентгеновского излучения. Длительность каждого импульса — и света, и рентгеновского излучения — существенно меньше, чем скважность между ними. Это позволяет регистрировать обе дифракционные картины сразу: от фотовозбужденных кристаллов (во время освещения кристалла и видимым светом, и рентгеновскими лучами одновременно) и невозбужденных (в период отсутствия фотовозбуждения) через некоторое время после каждого импульса света. Такая комбинация позволяет не только экономить время, но и учитывать степень разложения кристалла под воздействием рентгеновского излучения. Рентгеновский импульс, синхронизированный со световым, должен быть заметно короче, чем время релаксации центров люминесценции. Только при соблюдении этого условия структура фотовозбужденного кристалла будет заметной на фоне одновременно присутствующей структуры невозбужденного объема. Однако импульс не должен быть столь коротким, что интенсивность рентгеновского отражения не достигает статистически значимых величин. Во избежание последнего можно регистрировать каждый рефлекс многократно, но это увеличивает длительность эксперимента. Для получения пульсирующего излучения нужна стробоскопическая методика, которая успешно используется при временах релаксации кристаллов порядка нескольких микросекунд (при более коротких временах релаксации полезным оказывается синхротронное излучение). Стробоскопическая ме-

тодика позволяет аккумулировать интенсивность рентгеновского отражения на одном и том же фрейме детектора до тех пор, пока не накопится статистически значимая величина. Так были исследованы комплексы биядерных кластеров Rh-Rh, Cu-Cu, в которых длины связей металл—металл при фотовозбуждении заметно сокращаются из-за перехода электрона с разрыхляющей *d*-орбитали на связывающую *p*-орбиталь с большим главным квантовым числом.

Стробоскопический подход позволил обнаружить неожиданный результат фотовозбуждения, который демонстрируют кристаллы трехядерного комплекса (3,5-ди(трифторметил)пиразолат-медь)₃ [16]. В кристаллах этого соединения плоские комплексы образуют в основном и фотовозбужденном состоянии ступенчатые стопки. В результате фотовозбуждения (лазер, $\lambda = 355$ нм) расстояния Cu-Cu между атомами, принадлежащими соседним слоям, сокращаются с $4.020(1)$ до $3.46(1)$ Å, т.е. взаимодействия Cu-Cu внутри стопок при освещении усиливаются, но не это главное. Разглядеть необычность изменения кристаллической структуры под воздействием света легче в том случае, если сопоставлять расстояния между плоскими молекулами внутри стопки: большее в невозбужденном состоянии межплоскостное расстояние $3.952(1)$ Å сокращается до $3.33(1)$ Å, а меньшее межплоскостное расстояние $3.610(1)$ Å увеличивается до $3.91(1)$ Å.

Дальнейшее изложение требует краткого отступления. Выше упоминалось, что при оптической накачке кристаллы не выдерживают и трескаются. Даже если этого не происходит, фотовозбужденная молекула измененной конфигурации может «упереться» в неизменное невозбужденное окружение, и тогда результаты расшифровки кристаллической фотовозбужденной структуры окажутся искаженными. Во избежание таких осложнений исследуемые вещества используют не в нативном виде, а перерабатывают в супрамолекулярные соединения «гость-хозяин», которые образуют собственные кристаллы, причем гость фоточувствителен, а хозяин к свету индифферентен. Хозяин обеспечивает структурную стабильность, но его выбор имеет свои ограничения. Надо избегать переноса энергии от возбужденных молекул гостя к молекулам хозяина, для чего следует предпочитать такие «хозяйские» молекулы, которые не имеют протяженных цепей сопряженных связей [17].

Возвращаясь к результатам, полученным с помощью стробоскопической методики, следует отметить исследования фотовозбуждения димеров, которые образованы плоскими ароматическими молекулами ксантона, наложенными плашмя друг на друга. Димеры существуют в соединениях с определенным хозяином — гексаэтил каликс[6]резорцинареном (HECR) — и имеют состав HECR-(ксантон)₂-(CH₃OH)₆. В фотовозбужденном состоянии межплоскостное расстояние в димере со-

кращается с 3.39 до 3.14 Å и наблюдается латеральный сдвиг молекул относительно друг друга на 0.24 Å. Примечательно, что ксантон с другим хозяином — С-этилкаликс[4]резорцинареном — димеров не образует и признаков фотовозбуждения не проявляет [18].

О плюсах нынешних и будущих

Импульсы лазера в диапазоне от микро- до пикосекунд могут быть синхронизированы с импульсами синхротронного излучения, что позволяет регистрировать очень быстротекущие процессы. С помощью такой техники в работах [19–20] были исследованы двухатомные кластеры платины с пирофосфатными лигандами. Оказалось, что при освещении светом расстояние Pt-Pt сокращается почти на 10% из-за перехода электрона с разрыхляющей на одну из связывающих орбиталей. Но фотокристаллография с фемтосекундным разрешением по времени не может использовать синхротроны третьего поколения из-за особенностей их конструкции и для генерации рентгеновского излучения нуждается в лазерах на свободных электронах. Однако мощность импульса последних столь велика, что любой кристалл, по-видимому, будет разрушаться, а потому эта техника будущего уже получила название «эксперимента одного выстрела». Во время такого выстрела необходимо зарегистрировать интенсивности всех рефлексов, что не может быть обеспечено всеми вышеупомянутыми методами, основанными на монохроматическом рентгеновском или синхротронном излучении и последовательном измерении интенсивностей отражений рентгеновских лучей. Справиться с этой задачей способен только метод Лауэ, работающий с широким спектром частот и позволяющий зарегистрировать все рефлексы одновременно. Подготовка к этим экспериментам будущего уже началась. Не останавливаясь на технических деталях метода, приведем ныне известный пример фотокристаллографических исследований, выполненных методом Лауэ.

Кристаллы соединения $Rh_2(PNP)_4(BPh_4)_2$, где $PNP = CH_3N(P(OCH_3)_2)_2$, были изучены с помощью синхротронного излучения при фотовозбуждении импульсами титан-сапфирового лазера ($\lambda = 390$ нм) длительностью 35 пс. Межатомное расстояние Rh-Rh в фотовозбужденном состоянии сокращалось на 7% по сравнению с невозбужденным состоянием. Этот результат полезен не только для будущего, но и для настоящего, так как он повышает разрешение по времени в экспериментах, которые последовательно фиксируют все этапы изменения кристаллической структуры с момента начала фотовозбуждения до конца релаксационных процессов. Применение данной методики, получившей название «фотокристаллография с временным разреше-

нием», сейчас демонстрирует тенденцию к расширению [21].

В завершение следует перечислить перспективы прикладной фотокристаллографии.

Во-первых, они касаются солнечных электрогенерирующих панелей на красителях, которые в силу своей дешевизны и высокой технологичности могут стать в ближайшем будущем важным источником электрической энергии. Красители в них играют ключевую роль из-за окислительно-восстановительных конверсионных процессов, протекающих в панелях под воздействием света. Фотокристаллография может помочь в поисках наиболее эффективных красителей, так как она определяет не только структуру, но и динамику структурных превращений молекулы в возбужденном состоянии.

Во-вторых, фотокристаллография очень полезна при поиске материалов, предназначенных для регистрации голограмм, поскольку такие материалы нуждаются в исследовании процессов, в них протекающих.

В-третьих, вспомним, что телекоммуникационная индустрия остро нуждается в эффективных нелинейно-оптических материалах, среди которых выделяются кристаллы органических веществ (они обладают широкими полосами оптического пропускания и низким напряжением управляющего потенциала). Фотокристаллография с разрешением по времени может быть полезной для поиска нелинейно-оптических органических кристаллов, потому что их свойства определяются природой переноса порожденного светом заряда между молекулами. Свет заставляет молекулы перескакивать из нейтральных состояний в состояния с разделенными зарядами и обратно с частотой в нано-фемтосекундном диапазоне. Фотокристаллография позволит выявить тонкие детали таких процессов и их зависимость от особенностей состава и строения молекул и кристаллоконвертеров света.

Наконец, для практического использования очень перспективны органические светодиоды. И у последних на первый план выходят процессы переноса зарядов — именно они лежат в основе механизмов преобразования электрической энергии в свет. Четырехмерная фотокристаллография (три пространственные координаты плюс время) может определить кристаллическую структуру эмиссионного состояния, а вместе с ней факторы, влияющие на перенос зарядов. Так поиск наиболее эффективных светодиодных материалов оптимизируется.

И самое последнее замечание. Фотокристаллография может оказаться полезной для изучения механизмов биологической активности белков. Например, были исследованы фотодиссоциация молекулы угарного газа, связанного атомом железа миоглобина, и миграция образовавшейся молекулы CO внутри белковой глобулы. Выяснилось:

продвижение молекулы СО под воздействием света сопровождается структурными изменениями аминокислотных остатков, окружающих полость, в которой находится молекула СО, что приводит к увеличению объема этой полости. Тем самым

были введены представления о перистальтическом механизме миграции молекулы СО в белковой глобуле [22].

И все кратко упомянутое здесь — пока только начало...■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 94-03-08041-а.

Литература

1. *Cole J.M.* A new form of analytical chemistry: distinguishing the molecular structure of photo-induced states from ground-states // *Analyst*. 2011. V.136. P.448—455.
2. *Cole J.M.* Photocrystallography // *Acta Cryst.* 2008. V.A64. P. 259—271.
3. *Cole J.M.* Single-crystal X-ray diffraction studies of photo-induced molecular species // *Chem. Soc. Rev.* 2004. V.33. P.501—513.
4. *Zeitschrift für Kristallographie*. 2008. V.223. Issue 4—5.
5. *Aslanov L.A., Trunov V.A., Fetisov G.V. et al.* An X-ray diffractometer for studying the effect of external fields on the structure and electron distribution of single crystals // *J. Appl. Cryst.* 1989. V.22. P.42—45.
6. *Aslanov L.A., Fetisov G.V., Howard J.A.K.* Crystallographic instrumentation. Oxford, 1998. P.119.
7. *Kusz J., Spiering H., Güttlich P.* X-ray structure study of the light-induced metastable states of the spin-crossover compound $[\text{Fe}(\text{mtz})_6](\text{BF}_4)_2$ // *J. Appl. Cryst.* 2001. V.34. P.229—238.
8. *Marchivie M., Guionneau P., Howard J.A.K. et al.* Structural characterization of a photoinduced molecular switch // *J. Am. Chem. Soc.* 2002. V.124. P.194—195.
9. *Carbonera C., Sanchez Costa J., Money V.A. et al.* Photomagnetic properties of iron(II) spin crossover complexes of 2,6-dipyrazolylpyridine and 2,6-dipyrazolylpyrazine ligands // *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 2006. V.25. P.3058—3066.
10. *Hatcher L.E., Warren M.R., Allan D.R. et al.* Metastable linkage isomerism in $[\text{Ni}(\text{Et}_3\text{dien})(\text{NO}_2)_2]$: A combined thermal and photocrystallographic structural investigation of a nitro/nitrito interconversion // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2011. V.50. P.8371—8374.
11. *Cormary B., Malfant I., Buron-Le Cointe M. et al.* $[\text{Ru}(\text{py})_4\text{Cl}(\text{NO})](\text{PF}_6)_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$: a model system for structural determination and ab initio calculations of photo-induced linkage NO isomers // *Acta Crystallogr. Sect. B.* 2009. V.65. P.612—623.
12. *Warren M.R., Braysbaw S.K., Johnson A.L. et al.* Reversible 100% linkage isomerization in a single-crystal to single-crystal transformation: photocrystallographic identification of the metastable $[\text{Ni}(\text{dppe})(\eta^1\text{-ONO})\text{Cl}]$ isomer // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2009. V.48. P.5711—5714.
13. *Braysbaw S.K., Easun T.L., George M.W. et al.* Photocrystallographic identification of metastable nitrito linkage isomers in a series of nickel(II) complexes // *Dalton Trans.* 2012. V.41. P.90—97.
14. *Chou-Fu Sheu, Che-Hsiu Shib, Sugimoto K. et al.* A long-lived photo-induced metastable state of linkage isomerization accompanied with a spin transition // *Chem. Commun.* 2012. V.48. P.5715—5717.
15. *Coppens P., Formichev D.V., Carducci M.D., Culp K.* Crystallography of molecular excited states. Transition-metal nitrosyl complexes and the study of transient species // *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 1998. V.6. P.865—872.
16. *Vorontsov I.I., Kovalevsky A.Y., Chen Y.-S. et al.* Shedding light on the structure of a photoinduced transient excimer by time-resolved diffraction // *Phys. Rev. Lett.* 2005. V.94. P.193003.
17. *Coppens P., Baoqing Ma, Gerlits O. et al.* Crystal engineering, solid state spectroscopy and time-resolved diffraction // *Cryst. Eng. Comm.* 2002. V.4. №54. P.302—309.
18. *Coppens P., Benedict J., Messerschmidt M. et al.* Time-resolved synchrotron diffraction and theoretical studies of very short-lived photo-induced molecular species // *Acta Cryst.* 2010. V.A66. P.179—188.
19. *Kim C.D., Pillet S., Wu G. et al.* Excited-state structure by time-resolved X-ray diffraction // *Acta Cryst.* 2002. V.A58. P.133—137.
20. *Ozawa Y., Terashima M., Mitsumi M. et al.* Photoexcited crystallography of diplatinum complex by multiple-exposure IP method // *Chem. Lett.* 2003. V.32. P.62—63.
21. *Makal A., Trzop E., Sokolow J. et al.* The development of Laue techniques for single-pulse diffraction of chemical complexes: time-resolved Laue diffraction on a binuclear rhodium metal-organic complex // *Acta Cryst.* 2011. V.A67. P.319—326.
22. *Tomita A., Sato T., Nozawa S. et al.* Tracking ligand-migration pathways of carbonmonoxy myoglobin in crystals at cryogenic temperatures // *Acta Cryst.* 2010. V.A66. P.220—228.

Ледники Новой Земли в XX веке и глобальное потепление

В.С.Корякин

Ледники — один из важнейших компонентов природной среды, четко реагирующих на изменения климата. В современных условиях изучение ледников как индикаторов климатических колебаний вызывает особенный интерес. В 2006 г. опубликованы обширные сводки, в которых использованы сведения о ледниках различных районов земного шара. Это «Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху» [1] и «Современные глобальные изменения природной среды» [2]. Целью этих работ было выявление общих причин и закономерностей происходящего природного процесса.

Однако это непростая задача. Реакция ледников на климатические изменения определяется совокупностью многих причин: взаимным положением, количеством и источниками поступления тепла и осадков, различиями в морфологии и размерах и т.д. Изучение этой реакции требует многофакторного анализа, а в современной литературе нет даже сложившейся системы оценок происходящих изменений.

Вследствие большого разнообразия ледников и высокой степени их изученности за последнее столетие уникальным и перспективным районом для



Владислав Сергеевич Корякин, доктор географических наук, участник многих полярных экспедиций. Почетный полярник. Область научных интересов — гляциология, история полярных исследований. Постоянный автор «Природы».

будущих работ стал архипелаг Новая Земля. Я начал изучать проблемы колебаний ледников Новой Земли еще во время Международного геофизического года 1957—1959 гг. (МГГ) и с тех пор неоднократно посещал берега этого архипелага. Для анализа колебаний ледников здесь наряду с обычными линейными и площадными характеристиками (километрами и квадратными километрами) использовались еще и новые, относительные, — проценты от первоначальной площади [3]. Это позволило сопоставлять характеристики ледников разнообразных форм и размеров (получающих питание из общего источника — области Исландского барического минимума в Северной Атлантике) и судить о причинах их изменений.

Архипелаг Новая Земля

Новая Земля представляет собой затопленный морем горный хребет, состоящий из нескольких параллельных цепей с высотами до 1,5 км. Примерно посередине пролив Маточкин Шар делит его на два крупных острова — Северный и Южный. Возникновение здесь мощного оледенения общей площадью 24 400 км² определяется рядом обстоятельств: во-первых, расположением архипелага в зоне арктического фронта, на пути влагонесущих циклонов,двигающихся из Северной Атлантики по Исландско-Карской барической ложбине, и, во-вторых, его положением в высоких широтах (между 73° и 77° с.ш.). Ледники распределены здесь в соответствии с широтной зональностью, что зна-

чительно облегчает их районирование по преобладанию форм (табл.1). У южных пределов оледенения (73°с.ш.) распространены лишь небольшие горные ледники, а севернее они постепенно переходят в сплошной покров. На о.Южном суммарная площадь небольших горных ледников немного превышает 400 км², тогда как на Северном льдом покрыто 24 000 км².

Ледники отступают или наступают?

Об отступании ледников Новой Земли по наблюдениям 1907—1911 гг. первым заявил знаменитый исследователь Арктики В.А.Русанов [4]. Его выводы были основаны на положениях концов ледников относительно краевых морен, возраст которых в то время оставался неясным. Картируя новоземельские ледники, Русанов таким образом дал возможность будущим исследователям сравнить их современное положение с прежним. Такую же роль сыграли съемки другого российского полярного исследователя, Г.Я.Седова, в весеннем маршруте 1913 г., когда он нанес на карту участок ледникового покрова от п-ова Панкратьева до Большого Ледяного мыса (современный ледник Петерсена). В 30-х годах прошлого века положение горных ледников в окрестностях пролива Маточкин Шар было зафиксировано съемками гидрографов из Управления по обеспечению безопасности кораблевождения на северных морях (УБЕКО-Север). В это же время в районах, пройденных ранее Седовым, работала экспедиция Всесоюзного арктического института (ВАИ). Результаты этих исследований и дистанционные данные (аэросъемка, космоснимки и даже съемки судовым радиолокатором) позволили получить количественные оценки изменения размеров новоземельских ледников на протяжении всего XX в. Эти данные становятся особен-

Таблица 1

Размеры оледенения Новой Земли в различных морфологических областях

| Область оледенения | Покрыто льдом | | Длина ледяных берегов | |
|--------------------|-----------------|------|-----------------------|-----|
| | км ² | % | км | % |
| Горное | 1400 | 11 | — | — |
| Полупокровное | 3200 | 42 | 15 | 2 |
| Покровное | 19 800 | 66 | 194 | 14 |
| Всего | 24 400 | 13.4 | 209 | 0.3 |

но интересными в связи с актуальной сегодня проблемой антропогенного влияния на ход природного процесса.

Область горного оледенения. Хотя площадь нескольких самых крупных горных ледников Новой Земли достигает и превышает 30 км², остальные имеют значительно меньшие размеры (рис.1). И именно они — небольшие ледники — особенно заметно реагируют на климатические колебания. Их основная масса приурочена преимущественно к северо-восточным и юго-восточным склонам по обе стороны пролива Маточкин Шар, т.е. к подветренному по отношению к влагонесущим ветрам с Атлантики (рис.2). Кроме того, преобладание се-

веро-восточных и юго-восточных направлений в ориентировке горных ледников, по-видимому, связано с сезонными изменениями путей циклонов в зоне арктического фронта. Эти ледники ни где в пределах архипелага не достигают моря.

Судя по полученным данным для 28 ледников на обоих островах, за 1934—1952 гг. их площадь сократилась на 30 км² (или примерно на 2% от суммарной площади). На каждом пятом леднике были отмечены подвижки (в четырех случаях из пяти — у ледников бассейна Баренцева моря), что серьезно усложняет общие оценки, поскольку в полной мере их причины до сих пор не изучены. Если исключить подвижки, то суммарное сокраще-

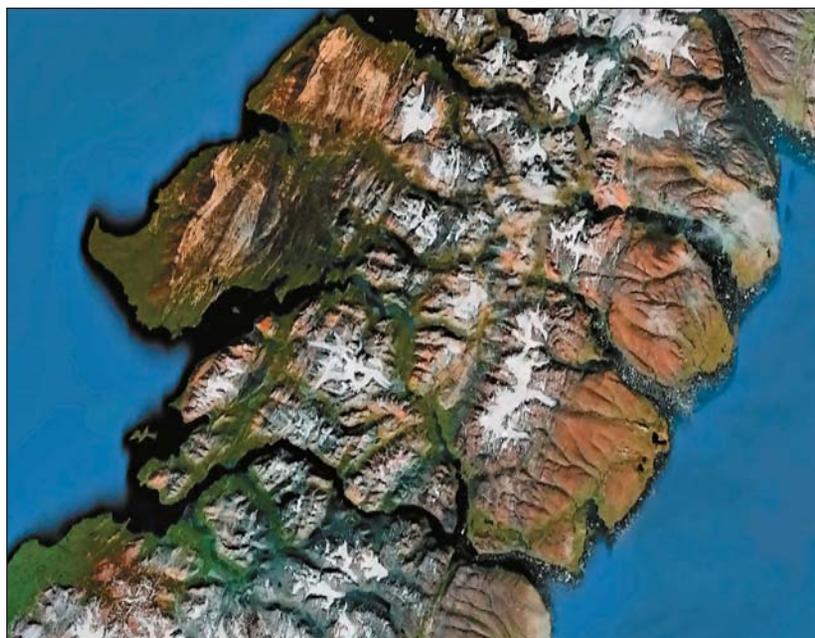


Рис.1. Область горного оледенения Новой Земли [5].

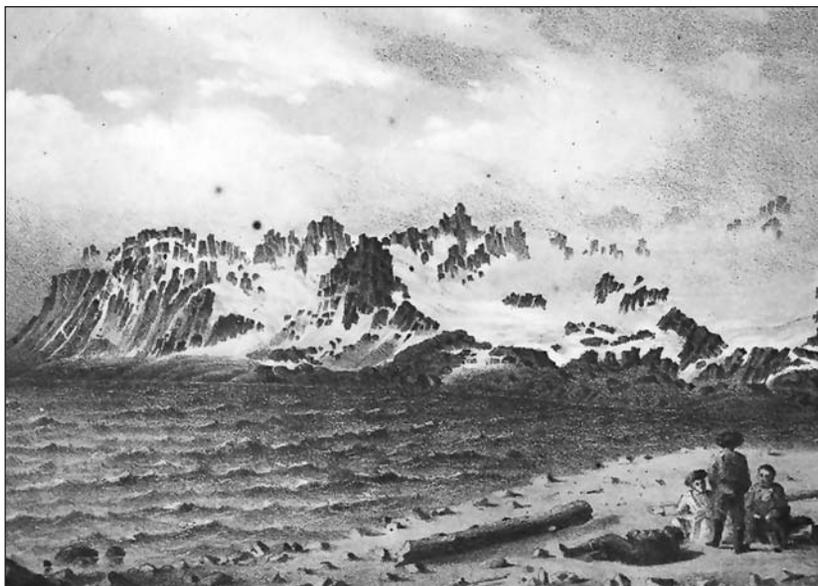


Рис.2. Первые изображения горных ледников на хребте Митюшев Камень (Экспедиция К.Бэра, 1837 г.).

ние площади горных ледников в 30–40-х годах XX в. составляет 140 км² (10% от общей площади).

После 1950 г. горные ледники Новой Земли повсеместно медленно отступали, причем подвижек уже не отмечалось. На о.Южном общее сокращение 23 горных ледников суммарной площадью более 220 км² (почти половина от оледенения острова) достигло 9 км², или 4% от общей площади. В бассейне Баренцева моря ледники отступали довольно медленно (всего 1%), тогда как в бассейне Карского моря их сокращение достигло 11%, что связано с местными условиями, прежде всего с особенностями горного рельефа. На о.Северном, по наблюдениям за 46 горными ледниками, сокращение их площади составило 41 км²

(10%). В отличие от о.Южного, здесь величина отступления ледников уменьшается с запада на восток: в бассейне Баренцева моря она составила 11%, на побережье пролива Маточкин Шар — 8%, а в бассейне Карского моря — менее 7%. Причиной этого, по аналогии с другими ледниковыми областями, может быть возрастание континентальных условий от Баренцева моря к Карскому.

Интересно, что наиболее интенсивно отступали ледники, ориентированные на юг и юго-восток, особенно по сравнению с ориентированными на запад и северо-запад (табл.2). Эти отличия, по-видимому, можно объяснить смещением к северу (к кромке льдов центрального Арктического бассейна) путей

влажносущих циклонов в связи с глобальным потеплением во второй половине XX в.

Распространяя полученные оценки на всю область горного оледенения Новой Земли, можно утверждать, что сокращение ледников в ее пределах в 1952–2012 гг. составило 56 км² на о.Южном и 95 км² на о.Северном, что в сумме превышает 150 км². Показательно, что во второй половине XX в. и в начале XXI в. здесь не отмечалось подвижек. Видимо, реакция ледников на потепление 20–40-х годов XX в. быстро себя исчерпала, а в дальнейшем ледники, приспособившись к изменениям климата, отступали значительно медленнее. Даже с учетом подвижек первой половины XX в. можно с уверенностью говорить о замедлении темпов сокращения горных ледников Новой Земли после 1950 г.

За время наблюдений изменился и внешний облик отдельных ледников. Их концы отодвинулись на значительное расстояние (часто до километра) от конечных морен, на месте их прежнего положения возникли озера, у сложных ледников обособились притоки, а у ледниковых языков исчезли обрывы.

Область полупокровного оледенения. Севернее губы Крестовой и до п-ова Адмиралтейства картина оледенения Новой Земли существенно меняется (рис.3). Дисперсные горные ледники объединяются в несколько центров — ледниковых плато — с единой областью питания и отдельными выводными языками. Почти две трети от площади ледников здесь приходится на бассейн Баренцева моря, остальная часть — на бассейн Карского моря. Ледосборы выводных языков значительно превышают размеры горных ледников, достигая порой сотен квадратных километров (у ледников Серп и Молот, Низкий, Хитрый и некоторых других). Эти языки часто достигают моря, образуя отвесные обрывы — ледяные фронты, от которых откалываются айсберги.

Таблица 2

Отступление горных ледников в зависимости от экспозиции склонов

| Экспозиция | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ | С | СВ | В | |
|--------------------------|-----------------|-------|------|------|-----|------|------|-------|-----|
| Всего ледников | 11 | 12 | 7 | 2 | 4 | 14 | 8 | 9 | |
| Площадь, км ² | 121.9 | 120.4 | 56.2 | 17.1 | 30 | 91.5 | 88.6 | 107.7 | |
| Сокращение | км ² | 11.5 | 16.3 | 1.8 | 1.1 | 2.2 | 1.3 | 9.4 | 4.8 |
| | % | 10.9 | 13.5 | 3 | 5.5 | 7.3 | 1.4 | 10.3 | 4.1 |

В бассейне Баренцева моря (при общей площади ледников 1994 км², из которых 5.4% достигают моря с фронтами протяженностью 8 км) ледниковые языки обычно спускаются по межгорным долинам параллельно оси о.Северного, т.е. при преобладании ориентировки, близкой к меридиональной. Единственное исключение — ледник Низкий, получающий питание частично с ледникового покрова и ориентированный на северо-запад (поперек оси острова). В бассейне Карского моря (площадь всех ледников 1222 км², 16% из них достигают моря с фронтами общей протяженностью 6 км) у выводных языков в условиях плато преобладает поперечная ориентировка общим направлением на юго-восток.

Наши оценки изменения площади оледенения в этой части Новой Земли охватывают два отрезка времени: 1930—1952 гг. и 1952—2012 гг. Исходя из сведений, полученных для 10 ледников, с 1930 по 1952 г. у двух из них — Ломоносова и Широкого — было отмечено стационарное положение. Темпы сокращения ледников в бассейнах Баренцева и Карского морей в этот период были разными (даже с учетом ограниченной статистики). Так, в бассейне Баренцева моря суммарное сокращение составило 2%, а в бассейне Карского — 8.8 км², или 1% от общей площади трех ледников — Серп и Молот, Витте и Лодыгина.

Такие же различия сохранились здесь и после 1952 г. (табл.3). По данным, полученным для 11 ледников бассейна Баренцева моря и пяти бассейна Карского, более интенсивно отступали ледники западного побережья. Применяя оценки, приведенные в табл.3, ко всей площади полупокровного оледенения о.Северного, можно предполагать, что общее сокращение ледников в бассейне Баренцева моря достигло почти 120 км², а в бассейне Карско-



Рис.3. Полупокровное оледенение Новой Земли [6].

го — 60 км². Таким образом, здесь действуют те же пространственные закономерности изменения ледников, что и в области горного оледенения. Что касается сокращения полупокровного оледенения в целом, то по имеющимся ограниченными данным, его темп за все время наблюдений (до и после 1950 г.) менялся относительно мало по сравнению с другими ледниковыми областями Новой Земли.

Ледниковые языки, достигающие моря, так же, как и оканчивающиеся на суше, во второй половине XX в. сильно сократились в размерах. До 11% своей первоначальной площади потеряли ледники №222 и №224, спускающиеся в оз.Ледниковое,

и до 9% — наземные ледники Хитрый и Широкий. Правда, в последнем случае есть основания объяснить столь значительные изменения реакцией ледников на предшествующие подвижки, которых (как и в области горного оледенения) в это время здесь уже не отмечалось.

Имели место и внешние признаки отступления ледников в этой части Новой Земли. Например, в 1909 г. в куту Машигиной губы Русанов обнаружил пролив на месте ледника, в 1901 г. описанного В.Вебером во время плавания на ледоколе «Ермак». Этот пролив появился в результате отступления ледников, перегораживавших губу поперек. Так был зафиксирован выход на сушу концов ледников

Таблица 3

Сокращение полупокровного оледенения Новой Земли в 1952—2012 годах

| Бассейн | Суммарная площадь | Сокращение площади | |
|----------------|-------------------|--------------------|-----|
| | | км ² | % |
| Баренцева моря | 1488 | 82 | 6.6 |
| Карского моря | 828 | 26 | 3.2 |
| Всего | 2316 | 108 | 4.7 |

Шумный, Буля и Лакруа, прежде находившихся на плаву.

Однако известны случаи и противоположного характера. В 1594 г. корабли В.Баренца прошли через пролив, существовавший в то время между о.Адмиралтейства и о.Северным. Позднее Ф.П.Литке в 1821—1824 г. и П.К.Пахтусов в 1835 г. отметили, что пролив между островами исчез — он оказался перекрыт языком ледника Низкий. При этом заполнение пролива произошло частично рыхлым материалом, отложившимся здесь в результате подвижки ледника. Но, к сожалению, такие данные (и особенно исходная информация) часто имеют случайный характер и не позволяют сделать достоверный вывод об общих тенденциях в развитии оледенения Новой Земли.

Область покровного оледенения. Самые значительные изменения в прошлом происходили у выводных языков ледникового покрова на крайнем севере Новой Земли (рис.4). Известно, что во времена Баренца (т.е. в разгар малого ледникового периода) конец Большого

Ледяного мыса (современного ледника Петерсена) располагался на 77°с.ш., а за последующие четыре века он отступил на 12 км. В 1910 г. Русанов отмечал, что «Большой Ледяной мыс выдается не так далеко в море, как обозначено на картах... Очертания мыса, состоящего из одного чистого льда, неизбежно должны год от года изменяться. Если благодаря изобильным атмосферным осадкам приток льда в леднике, образующем мыс, возрастает, то естественно, что и самый Ледяной мыс должен выдвигаться дальше в море. Если же количество осадков... уменьшается, то и Ледяной мыс постепенно укорачивается. При продолжительном уменьшении осадков и при повышении температуры возможно даже, что когда-нибудь этот же самый Ледяной мыс превратится в Ледяной залив» [4. С.149—150]. Именно это и произошло спустя два десятка лет. Прогноз Русанова подтвердила карта ВАИ, созданная в 1933 г.

Съемки экспедиции ВАИ показали, что со времени работы Седова (1913) общая площадь

ледникового покрова на берегах Баренцева моря сократилась всего на 0.4% (эта немаловажная информация может относиться и к областям горного и полупокровного оледенения, которые, по всей видимости, развивались однонаправленно). При этом изменения положений концов выводных языков достигали многих километров и были намного значительнее, чем в других ледниковых областях Новой Земли (рис.5). Отмечались здесь и подвижки ледников — в 1913 г. они были описаны Седовым в заливе Иностранцева (что в 1927 г. подтвердил Р.Л.Самойлович), а позднее полярный топограф А.А.Кураев зафиксировал подвижки с характерным для них быстрым образованием трещин — часто прямо на глазах у наблюдавших.

До середины XX в. топографические съемки, на основе которых можно было судить об изменениях оледенения, захватывали на Новой Земле лишь отдельные участки. Но даже на основе этих ограниченных данных удалось оценить сокращение площади ледникового покрова (в 30—40-х годах оно превысило 180 км²), а главное — по результатам топографических съемок выполнить оценку уменьшения объема льда. Одновременно, благодаря результатам исследований МГГ, появилась возможность контроля этих данных расчетами вещественного баланса ледника [3]. Так, убыль ледникового покрова составила 3 км³/год с точностью в пределах одной пятой (в зависимости от метода оценки), что для начала было совсем неплохо.

С 1952 г., когда дистанционные методы исследований — аэросъемка, а позднее и космическая съемка — охватили всю Новую Землю с ее ледниками, точность оценки существенно повысилась. Было установлено, что за период с 1952 по 2012 г. площадь ледникового покрова сократилась на 250 км², а его объем — на 180 км³. Продолжали происходить очевидные из-

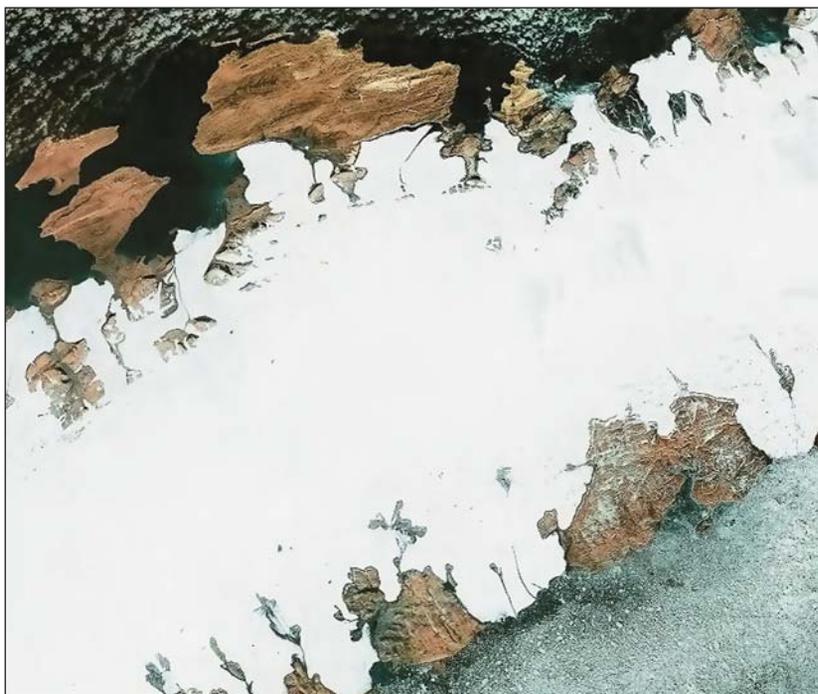


Рис.4. Ледниковый покров Новой Земли [6].



Рис.5. Типичный фронт выводного ледника (ледник Чаева).

Фото Е.Платонова

менения положений концов выводных языков. Так, например, ледник Кривошеина, в середине XX в. упиравшийся в безымянный остров, к рубежу тысячелетий отступил от него на 3 км. При этом площадь ледника сократилась почти на четверть от бассейна ледосбора. Сложные ледники (Вилькицкого, Норденшельда и др.) при отступании общего фронта часто распадалась на отдельные составляющие.

Таким образом, эволюция ледникового покрова Новой Земли за столетие — с 1913 по 2012 г. — предстает в следующем виде: незначительное сокращение площади оледенения в 1913–1933 гг. (только 0.4%) сменилось за последующие двадцатилетие (1933–1952) максимальным — 2%. Такой же была убыль льда и в последующие 60 лет — вплоть до 2012 г., что очевидно исключает индустриальное влияние на этот процесс.

Отметим, что сокращение новоземельского ледникового покрова имеет три характерные особенности. Первая — это уменьшение к югу темпа отступления выводных языков, что

объясняется увеличением абсолютной высоты ледниковой поверхности в этом направлении. Вторая — более интенсивное отступление ледников баренцевоморского побережья по сравнению с побережьем Карского моря, что было установлено еще во время МГГ (рис.6) и подтверждено позднее по космиче-

ским снимкам [7]. Казалось бы, это противоречит более благоприятным условиям для существования оледенения в бассейне Баренцева моря по сравнению с бассейном Карского. Однако определяющим фактором здесь служит не различие в положении границы питания и количестве осадков, поступающих

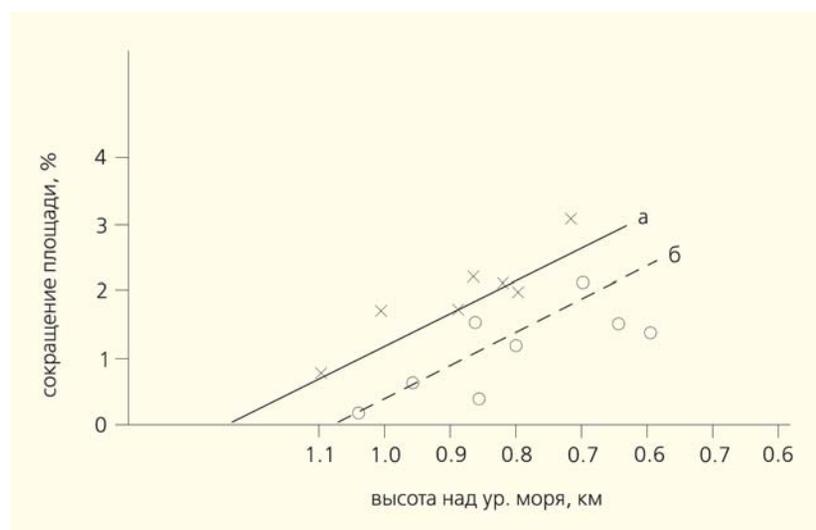


Рис.6. Стекая от общего ледораздела, выводные языки ледникового покрова, в первую очередь, замедляют свое отступление к югу, что объясняется увеличением высоты ледниковой поверхности в этом направлении, и, во-вторых, отступают интенсивней в бассейне Баренцева моря (а) по сравнению с бассейном Карского (б).

с атлантическими циклонами (как это представляется с первого взгляда), а темп массо-энергообмена в ледосборах обоих морских бассейнов на общем фоне направленности эволюции оледенения. Важно, что эта особенность отмечается не только на описанном локальном уровне, но и на региональном — на всем пространстве от Исландии до Северной Земли — в зависимости от энергии оледенения [7].

И, наконец, третья особенность сокращения ледникового покрова Новой Земли в XX в. — замедление этого процесса со временем. Этот факт противоречит теории парникового эффекта (влияние которого, по утверждению многих источников, резко возросло после 1950 г.) и ставит под сомнение само его существование. Однако обсуждение этой проблемы уже выходит за рамки темы настоящей статьи.

Причины сокращения ледников

Общие оценки отступления ледников архипелага на протяжении XX в. представлены в табл.4. Оценки суммарного сокращения оледенения (даже с учетом экстраполяции) в целом близки к тем, что были получены ранее [7], когда сокращение площади ледников Новой Земли в XX в. оценивалось в 1000 км², а объема — в 310 км³. Некоторое отличие между этими данными объясняется уточнением по мере поступления новых сведений — главным образом материалов космических съемок. Обновлен-

Таблица 4

Сводные оценки сокращения оледенения Новой Земли

| Область оледенения | Сокращение | | | | | |
|--------------------|-----------------|------|---------------------------|-----------------|------|---------------------------|
| | 1930–1950 гг. | | | 1950–2010 гг. | | |
| | Площадь | | Объем, км ³ | Площадь | | Объем, км ³ |
| | км ² | % | | км ² | % | |
| Горное | 140 | 10 | 10 | 150 | 11.7 | ~10 |
| Полупокровное | 60 | ~1.3 | ~30 | 180 | 5.7 | ~7.4 |
| Покровное | ~200 | 1.0 | ~60 | 250 | 1.2 | ~144 |
| ВСЕГО | 400 | — | ~100 | 580 | — | ~161 |

ные данные позволяют сделать важный вывод о падении темпов отступления ледников Новой Земли со второй половины XX в. после его максимума в 30–40-х годах (даже с учетом ограниченности данных о поведении полупокровных ледников для первого периода), что свидетельствует об отсутствии влияния на этот процесс парникового эффекта.

В целом в оценке причин происходящего сокращения невоземельских ледников намечается следующая система взаимосвязей разного уровня.

На первом месте стоят глобальные (планетарные) причины — смещение Исландского барического минимума ближе к экватору по мере ускорения вращения Земли, в результате чего возрастает «закачка» тепла в высокие широты и усиливаются меридиональные процессы в атмосфере Российской Арктики — возрастает продолжительность лета, а зима становится короче [8].

На втором месте стоит влияние региональных факторов — удаленность ледников от источника тепла и влаги относительно

но местного водораздела (ледораздела). Это определяет более медленное отступление ледников бассейна Карского моря по сравнению с бассейном Баренцева, к которому также приурочено большинство отмеченных подвижек.

На третьем месте проявляются локальные причины — например, рельеф местности, определяющий замедление современного отступления выводящих языков ледникового покрова от северных пределов оледенения к южным.

В заключение отметим, что изучение процесса современного сокращения ледников именно Новой Земли, в отличие от других ледниковых районов России, представляется весьма перспективным по совокупности полученных выводов, а также вследствие уже имеющегося продолжительного ряда наблюдений. Этот район интересен прежде всего с точки зрения прогноза развития среды обитания человека в пределах влияния Исландского барического минимума — как на суше, так и в морских акваториях. ■

Литература

1. Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху / Под ред. В.М.Котлякова. М., 2006.
2. Современные глобальные изменения природной среды / Под ред. Н.С.Касимова, Р.К.Клиге. М., 2006.
3. Чижов О.П., Корякин В.С., Давидович Н.В. и др. Оледенение Новой Земли / Под ред. Г.А.Авсюка. М., 1968.
4. Русанов В.А. Статьи, лекции, письма. М.; Л., 1945.
5. <http://www.google.com/earth>
6. <http://maps.yandex.ru>
7. Корякин В.С. Ледники Арктики. Л., 1988.
8. Корякин В.С. Сокращение оледенения Новой Земли на фоне вращения планеты // Земля и Вселенная. 1997. №1. С.17–24.

Подледное скопление сайки в районе Северного полюса

И.А.Мельников, Н.В.Чернова

Центральный Арктический бассейн. Зима. Полярная ночь. Дрейфующая станция «Северный полюс-37». Океанолог станции В.П.Зимичев собирается проводить свои ежедневные гидрологические наблюдения в палатке с прорубью во льду толщиной около 2 м. Прорубь — лунка, или майна, как называют ее полярники, обогревается и закрывается крышкой, дабы избежать замерзания воды, ведь за «бортом» температура в это время падает иногда до -40°C . Все вроде бы обычно, но не в этот раз. Когда Владимир Павлович поднял крышку, то просто ахнул: вся майна кишела рыбой! Как позже он написал в своем фенологическом дневнике, «...майна была заполнена до состояния рыбной каши». Действительно, ахнуть было от чего: обычно в лунке плавает одна или (редко) две рыбки, а здесь плотная масса рыб, бок о бок, причем «...в сутолоке не упуская возможности засунуть себе в пасть соплеменника поменьше, подолгу плавая с торчащим изо рта хвостом».

Весть моментально, как говорится, стала достоянием общест-венности. Умелые руки полярников быстро смастерили нехитрую снасть — сачок из арматуры в виде прямоугольной изогнутой рамки, обтянутой «картофельным» мешком, и началась рыбалка — рыбалка у Северного полюса, да еще какая! Сачок

© Мельников И.А., Чернова Н.В., 2013



Игорь Алексеевич Мельников, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН, академик Международной академии информатизации при ООН, член Комитета по изучению Арктики и Антарктики при Президиуме РАН, Американского геофизического общества и Американского общества лимнологии и океанографии. Занимается изучением роли морских льдов, как компонента биосферы, в экосистемах Северного и Южного океанов.



Наталья Владимировна Чернова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ихтиологии Зоологического института РАН (Санкт-Петербург). Участник российских и международных морских экспедиций в воды Шпицбергена, Гренландии, Баренцево, Карское и Чукотское моря. Область научных интересов — фауна и зоогеография рыб Арктики; систематика липаровых рыб мировой фауны. Занимается исследованием ихтиофауны северных морей.

опускали в прорубь на глубину 1.5 м и медленно поднимали на поверхность. За два-три часа, не торопясь, вылавливали до полутора центнеров. Рыбу складировали в полиэтиленовые мешки и хранили на морозе, и ее было столько, что Владимир Павлович не без юмора отметил: «...на СП-37 собаки и их ближай-

шее потомство могут спать со спокойной уверенностью в завтрашнем дне. Можно было и дальше ловить, но производительность резко снижалась из-за того, что надоедало и поясницу слегка ломало».

Конечно, часть пойманной рыбы была сохранена для последующих научных исследований,



Рис.1. Самка сайки, пойманная в Канадском секторе Северного Ледовитого океана (81°43'с.ш., 142°16'з.д.) во время дрейфа станции СП-37.

Фото Н.В.Черновой

и в Зоологический институт РАН поступили две пробы замороженных рыб: 69 экз., пойманные 3 декабря 2009 г. (81°80'с.ш., 149°69'з.д.) и 265 экз., пойманные 11 января 2010 г. (81°43'с.ш., 142°16'з.д.). В обеих пробах был выявлен только один вид — сайка, или полярная тресочка (*Bo-reogadus saida*), длина которой составляла от 75 до 169 мм (рис.1). Доминирование неполовозрелых особей третьего года жизни (2+) — 94% в пробе 1 и 86% в пробе 2 соответственно — дает основания говорить об однородном скоплении, поскольку рыбы других возрастов в выборках оказались немногочисленны (рис.2).

Известно, что сайка — холодолюбивый, преимущественно планктоноядный вид, встречающийся на всей акватории Север-

ного Ледовитого океана, включая центральные районы, покрытые паковым льдом. Хотя сайка не относится к основным промысловым видам, она играет важную роль в трофической сети морской экосистемы Арктики, поскольку входит в рацион большинства млекопитающих и птиц [1]. Особенность жизненного цикла сайки — образование массовых скоплений, зарегистрированных как на открытых ото льда акваториях, так и у кромок льда. В центральных районах Северного Ледовитого океана с постоянно существующим мощным ледовым покровом сайка чаще всего встречается единичными особями или маленькими стайками. Отдельных особей этих рыб воочию наблюдали работающие подо льдом водолазы, видели и мы — на

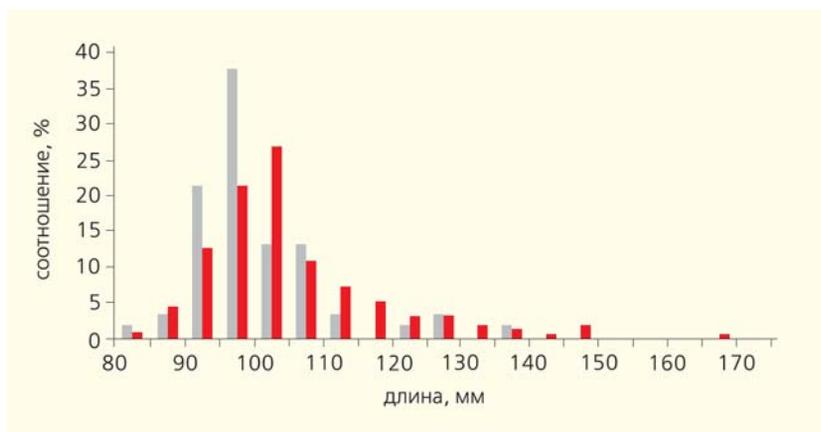


Рис.2. Процентное соотношение размерных групп сайки в двух пробах из Канадского сектора Северного Ледовитого океана. Наиболее многочисленна молодь длиной 95—100 мм (проба 1 — серые столбики) и 100—105 мм (проба 2 — красные столбики).

льдинах, перевернутых при прохождении ледоколов через ледовые поля.

Массовое скопление тресковых рыб в открытых ото льда водах — явление хорошо изученное, однако до сих пор имеется мало сведений о стайных скоплениях этих рыб в высоких широтах под паковыми льдами Центрального Арктического бассейна. Одним из первых свидетельств об агрегациях тресковых в центральных районах Северного Ледовитого океана можно считать наблюдения с американской атомной подводной лодки «Скейт» 18 марта 1959 г., проведенные в 300 милях от Северного полюса на глубине 122 м. Капитан Джеймс Калверт так описал этот эпизод: «Вдруг на экране телевизора появилась масса рыбы. Каждая рыбка в отдельности была не более 20 см, но ее было несметное количество. Косяк рыбы был огромен. Мы проходили милю за милей, а море по-прежнему было полно рыбы. Возможно, что около нас держался один и тот же косяк, привлекаемый лучом света, но мы шли со скоростью *шестнадцать узлов*, и выдержать эту гонку нашим маленьким спутникам было довольно трудно. Кроме того, создавалось впечатление, что не рыбы плывут вместе с нами, а, скорее, мы проходим через них» [2. С.175]. По телевизионному изображению нельзя точно судить о видовой принадлежности, но с большой вероятностью можно предположить, что это было скопление тресковых рыб, поскольку под паковыми льдами Центрального Арктического бассейна встречаются только два вида: сайка и ледовая, или черная, треска (*Arctogadus glacialis*) [3].

Первое научное описание массовых скоплений тресковых рыб под паковыми льдами в Центральном Арктическом бассейне было выполнено по ихтиологическим сборам со станции СП-16 в 1968—1969 гг., дрейфовавшей на границе псевдоабиссальных глубин Канадской кот-

ловины Северного Ледовитого океана [4]. В зимний период, с ноября по март, в районе между 80°04' и 81°23' с.ш. постоянно наблюдали массовое скопление сайки и черной трески, причем сайка преобладала в подледных ловах с ноября по январь, а черная треска — в феврале—марте. Любопытно, что за всю историю наблюдений на дрейфующих станциях СП в Центральном Арктическом бассейне только дважды — на СП-16 в 1968—1969 гг. и на СП-37 в 2009—2010 гг. — наблюдали такие скопления под паковым льдом, что говорит о редкости этого ихтиологического события. Интересно также отметить, что оба наблюдения были выполнены в зимний сезон и в одном географическом регионе (рис.3).

Поскольку на СП-16 и СП-37 специальные исследования за распределением сайки, например видео- или акустические наблюдения, не проводились, то о пространственных размерах скоплений и плотности рыб подо льдом можно судить только по записям полярников. Такие комментарии, как «косяк рыбы был огромен; мы проходили милю за милей, а море по-прежнему было полно рыбы» [2], «рыба кишела в лунке», «тысячные стаи» (СП-16), «...за 2—3 ч можно выловить до 150 кг рыбы» (СП-37), — дают лишь общее представление о массовости этого явления. На основании таких записей можно только предполагать, что в количественном отношении скопления тресковых под паковыми льдами в Центральном Арктическом бассейне сопоставимы с таковыми в открытых ото льда водах на периферии бассейна.

Почему сайка объединяется в стаи?

Рассмотрим две вероятные причины, объясняющие появление массовых скоплений тресковых рыб подо льдами в Арктическом бассейне. Первая из них — оди-

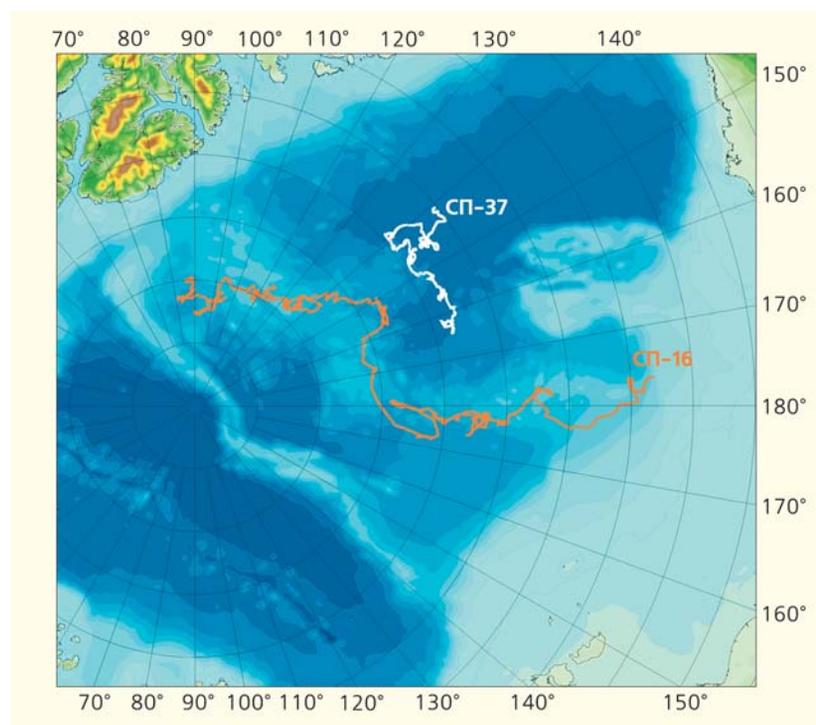


Рис.3. Дрейф СП-16 (1968—1969) и СП-37 (2009—2010) в Канадской котловине Северного Ледовитого океана, где в зимний период наблюдали массовые подледные скопления сайки.

ночные сайки собираются в одном месте подо льдом, уловив какой-то сигнал, информирующий их, например, об обилии пищи. Это предположение высказывалось ранее, но оставалось неясно, какие именно «запахи» привлекают рыб. В экспериментах достоверно доказано, что несколько планктонных видов коралловых рыб устремляются к источнику диметилсульфонио-пропионата (ДМСП) — продукта метаболизма планктонных водорослей (они выделяют это вещество, когда их поедает зоопланктон), причем улавливают ДМСП на расстоянии 14 км. Если предположить, что ДМСП (или подобное ему вещество) служит сигналом для объединения рыб в стаю, то тогда в Северном Ледовитом океане должны быть районы, где создаются условия для появления такого сигнала. В Центральном Арктическом бассейне это может быть там, где соприкасаются водные массы двух генеральных циркуляций поверхностных вод и льда: анти-

циклональный круговорот Бофорта, расположенный в амеразийском суббассейне Северного Ледовитого океана, и трансарктический дрейф, направленный от шельфа Чукотского и Восточно-Сибирского морей через Северный полюс в пролив Фрама (рис.4). Как известно, в местах контакта мощных течений (так называемых фронтальных зонах) создаются условия для высокой биологической продуктивности. Дрейф СП-16 и СП-37 проходил именно вдоль фронтальной зоны: район дрейфа располагался между крайней восточной периферией Трансарктического течения и краем западной периферии круговорота Бофорта, т.е. находился преимущественно в зоне воздействия отдельных вихрей этих течений. В таких областях, при отсутствии сильных и устойчивых глубоководных течений, в «мертвой» зоне могут создаваться благоприятные условия для образования высокой биомассы водорослей, выделения ДМСП при

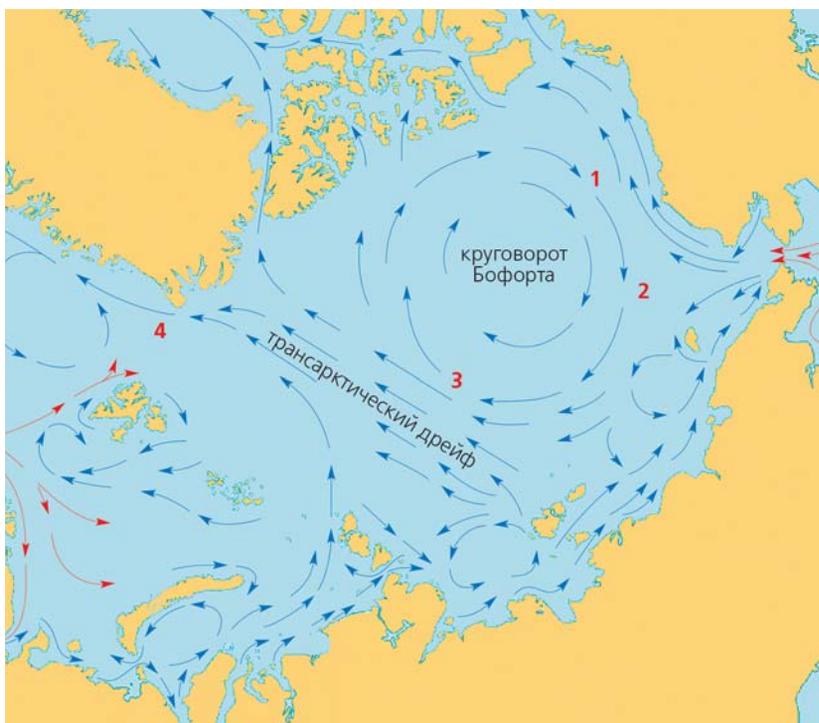


Рис.4. Генеральный дрейф льдов в Северном Ледовитом океане [5].

выедании зоопланктоном, что и привлекает рыб. Действительно, высокая степень наполнения желудков сайки пищей свидетельствует о ее интенсивном откорме в районе скопления. Уменьшение биомассы зоопланктона в поверхностной водной массе с ноября по март может быть косвенным свидетель-

ством выедания рыбами планктона, в котором доминируют *Calanus glacialis*, *C.finmarchicus*, *C.hyperboreus* и *Metridia longa*, составляющие около 90% биомассы в слое 0–30 м (рис.5).

Мы предполагаем, что в современных условиях именно планктонная, а не криопелагическая фауна может быть основ-

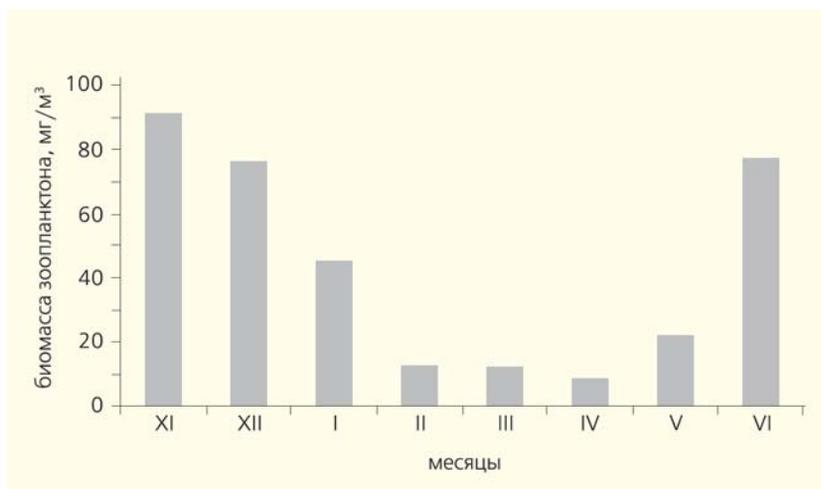


Рис.5. Биомасса зоопланктона (мг/м³) в слое 0–30 м по данным наблюдений на дрейфующей станции СП-35 за период с 13 ноября 2007 г. (82°08'с.ш., 98°10'в.д.) по 14 июня 2008 г. (81°53'с.ш., 29°09'в.д.).

ным источником пищи для сайки в стайных скоплениях. Фауна современного криопелагического биоценоза бедна, как по численности видов, так и по количеству особей подо льдом. Из 20 видов, связанных с обитанием под многолетними льдами в зимний период [1], в настоящее время подо льдом встречены единичные особи амфипод *Gammarus wilkitzkii*, *Apherusa glacialis* и циклопоиды *Oithona similis**.

Второе предположение, объясняющее образование массовых скоплений сайки, связано с особенностями ее жизненного цикла и с дрейфом льда в Центральном Арктическом бассейне.

В ледовых условиях сайка размножается в январе–феврале. После оплодотворения икра находится во взвешенном состоянии в контактном слое «вода–лед», и инкубационный период длится около трех месяцев. Массовое вылупление личинок происходит в мае–июне. В первые дни жизни личинки остаются у поверхности льда и продолжают питаться желтком еще около месяца после вылупления, т.е. весь период от икры до молоди, способной плавать, длится около 7 мес. Как этот этап развития связан с дрейфом льдов?

Когда сайка нерестится в феврале подо льдом в море Бофорта (точка 1 на рис.4), икра остается в зоне контакта «вода–лед», и в этом биотопе проходит ее дальнейшее развитие. Дрейф льда в этом районе имеет западное направление вдоль Аляски в сторону Чукотского моря. Время дрейфа от района нереста сайки в море Бофорта до Чукотского моря занимает около 5 мес [5], т.е. лед оказывается в Чукотском море в июле. К этому времени (точка 2 на рис.4) личинки заканчивают питаться желтком, начинают плавать

* Данные авторов, собранные во время Панарктической ледовой дрейфующей экспедиции в 2007–2011 гг. (www.pai-cex.ru).

и самостоятельно искать пищу. Дальнейшая судьба молоди будет зависеть от того, растает лед или сохранится. В случае потери ледового субстрата мальки продолжат свое развитие в открытой ото льда акватории, а в случае, если мальки останутся у льда, их дальнейший цикл развития будет связан с генеральной циркуляцией льда в Северном Ледовитом океане. Молодь сайки, вероятно, не рассеивается, а держится стаями, в силу того что это еще не активные пловцы, и стайное скопление молоди будет далее связано со льдом, дрейфующим от периферии бассейна в высокие широты (точка 3 на рис.4). Можно предположить, что за время пребывания в трансарктическом дрейфе со льдом личинки сайки, вовлеченные в циркуляцию в этом направлении, могут пройти полный цикл развития и при выносе льда в Северную Атлантику достичь половозрелого возраста (точка 4 на рис.4).

В настоящее время нет достаточных оснований, позволяющих отдать предпочтение первому или второму сценарию образования стайных скоплений сайки в высоких широтах. Слабое звено первого из них связано с интенсивностью конкуренции за пищу. Известно, что в стае рыб пищевая конкуренция возрастает (в сравнении с условиями, когда рыба находится вне стай). Например, для *B.saida* показано, что у рыб в стайном скоплении частота

встречаемости пустых желудков составляет 65%, а вне стай — только 3%. Для подтверждения второй гипотезы не хватает продолжительных наблюдений за развитием и ростом сайки под одним и тем же ледовым пологом, дрейфующим в Северном Ледовитом океане (в частности — от моря Бофорта в сторону Чукотского и Восточно-Сибирского морей и далее). Однако получены результаты экспериментальных наблюдений за развитием ранней молоди и хорошо документированные данные дрейфа ледовых полей. По всей вероятности, «работают» оба варианта объяснения феномена.

Что касается завершения жизненного цикла сайки из подледных скоплений высоких широт Северного Ледовитого океана, то можно предположить следующее. Во-первых, должны существовать возвратные миграции половозрелой рыбы на шельфы морей Чукотского и Бофорта в районы нерестилищ. Часть подростовой молоди, вероятно, может возвращаться на шельф моря Бофорта вместе со льдами антициклонального круговорота Бофорта, где время круговорота составляет от четырех до 10 лет [5]. Во-вторых, подростовая в подледных условиях сайка, приобретая все большие возможности активного плавания, по-видимому, начинает совершать вертикальные миграции вместе с зоопланктоном. По достижении полового со-

зрелания опускается на глубину, и возвратные миграции на шельф могут происходить в струях вод атлантического промежуточного слоя, направленных противоположно дрейфу ледовых полей. В-третьих, не исключено, что некоторая часть молоди может быть вовлечена в Трансарктический дрейф льдов через Центральный Арктический бассейн в Северную Атлантику. За время пребывания в дрейфе, в течение трех-четырех лет молодь сайки, вовлеченная в циркуляцию в этом направлении, может пройти полный цикл развития [5]. При выносе льда в Северную Атлантику достигшая половозрелости рыба может пополнить нерестовую часть популяции сайки приатлантического сектора Арктики (вероятно, преимущественно в районах Северной Гренландии и Шпицбергена).

В заключении с признательностью упомянем полярников дрейфующей станции «Северный полюс-37» и «Высокоширотной арктической экспедиции» Арктического и антарктического научно-исследовательского института: И.С.Ужакина (врача экспедиции), собиравшего рыб и сохранившего их для последующего изучения, и В.П.Зимичева (океанолога станции), записывавшего фенологические наблюдения, а также В.Т.Соколова (начальника экспедиции) и С.Б.Лесенкова (начальника станции), которые способствовали передаче данных. ■

Работа была выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 12-05-00269.

Литература

1. Мельников И.А. Экосистемы арктического морского льда. М., 1989.
2. Калверт Д. Подо льдом к полюсу. М., 1962.
3. Chernova N.V. Distribution patterns and chorological analysis of fish fauna of the Arctic region // J. Ichthyol. 2011. V.51. №10. P.825—924.
4. Андрияшев А.П., Мухомедияров Б.Ф., Павутикс Е.А. О массовых скоплениях криопелагических рыб *Boreogadus saida* и *Arctogadus glacialis* в околополюсных районах Арктики // Биология Центрального Арктического бассейна. М., 1980. С.196—211.
5. Гудкович З.М., Доронин Ю.П. Дрейф морских льдов. СПб., 2001.

Структура ринхолитов — челюстей ископаемых ГОЛОВОНОГИХ

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

А.В.Рыбакова, Я.И.Чеботарева

Российский государственный геологоразведочный университет им.С.Орджоникидзе
Москва

Ринхолиты — обывствен-
ные кончики верхней челю-
сти головоногих моллюс-
ков — привлекают внимание ис-
следователей уже на протяжении
более чем полутора столетия, одна-
ко и до настоящего времени оста-
ются слабо изученной группой
окаменелостей [1]. Во всем ком-
плексе вопросов, связанных с
изучением ринхолитов, наименее
познана их структура.

Исследование структуры
(имеются в виду такие уровни
организации скелетной ткани,
как текстура, макро-, микро-
и ультраструктура [2]) минера-
лизованных скелетных остатков
ископаемых организмов — важ-
ное и перспективное современ-
ное направление морфологиче-
ского анализа в палеонтологии.
Совершенно новые возможнос-
ти открыло применение в сере-
дине 60-х годов XX в. специаль-
ных методов сканирующей (рас-
стровой) электронной микроско-
пии, позволивших существенно
расширить возможности наблю-
дений структурных особеннос-
тей при больших увеличениях,
а также повысить достоверность
их идентификации. В течение
последних десятилетий в обла-
сти изучения структуры мине-
ральных скелетов были проведе-
ны детальнейшие работы, опу-
бликован ряд крупных трудов, ре-
гулярно проводятся научные
конференции. Наиболее хорошо
исследована структура раковин

© Комаров В.Н., Рыбакова А.В.,
Чеботарева Я.И., 2013



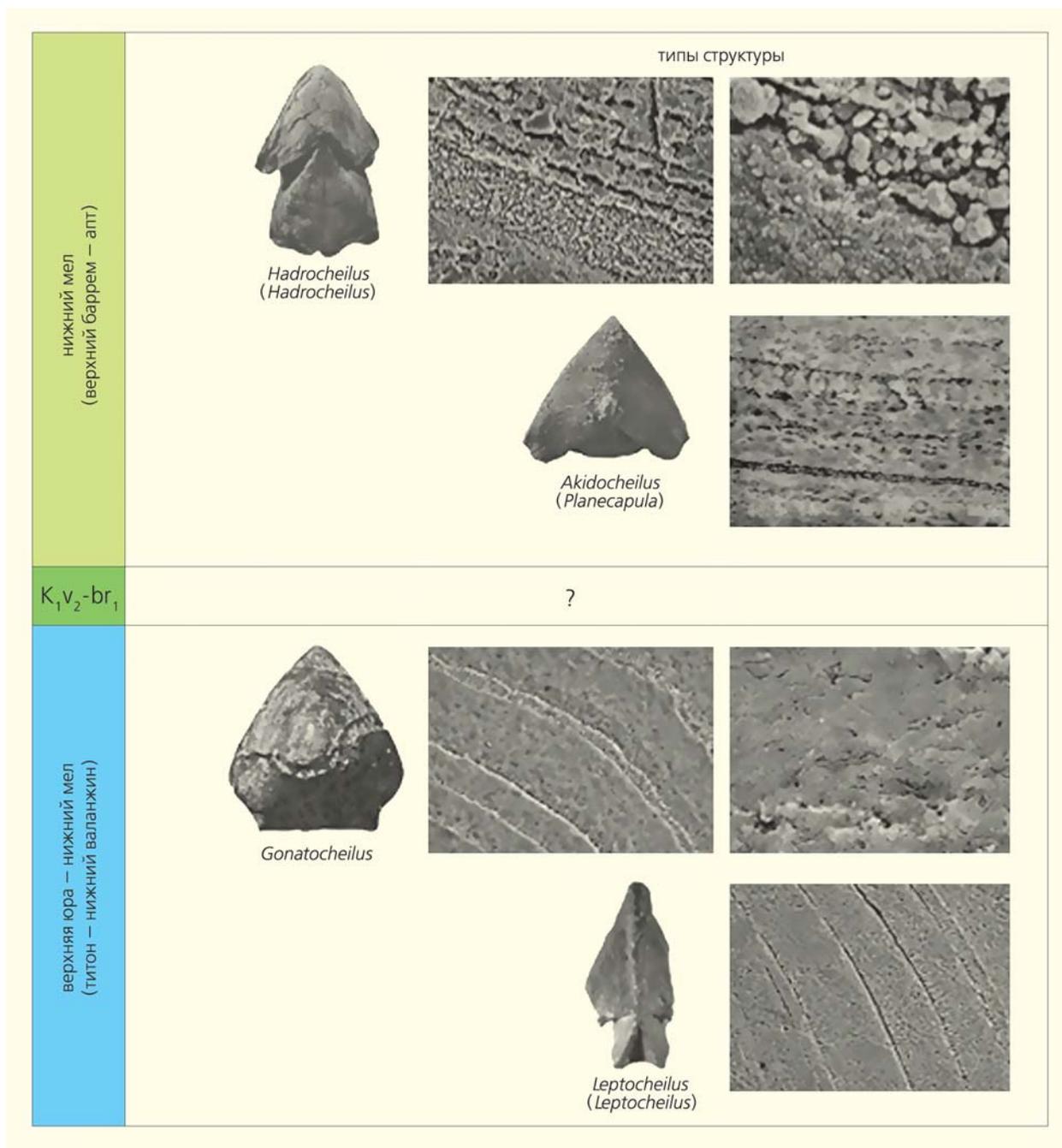
Основные морфологические элементы ринхолита.

моллюсков и брахиопод. Не-
смотря на некоторые черты
сходства, разные таксоны бес-
позвоночных характеризуются
яркими индивидуальными осо-
бенностями в степени распро-
страненности и сочетании раз-
личных структурных типов сво-
их скелетных образований [1].

Структурные исследования
ринхолитов до последнего вре-
мени носили эпизодический ха-
рактер. Сканирующей электрон-
ной микроскопией было выясне-
но строение лишь у нижнемел-
ловых (верхнебарремско-апт-
ских) представителей под родов
Akidocheilus (*Planecapula*) и *Had-
rocheilus* (*Hadrocheilus*) из Юго-
Западного Крыма [3—5].

Эти работы мы дополнили
изучением ринхолитов *Gonato-
cheilus brunneri* и *Leptocheilus*
(*Leptocheilus*) *chaudonensis*, со-
бранных В.Е.Хаиным в 1946 г.
в окрестностях селения Гюлек
(Азербайджан) в нерасчленен-
ных отложениях верхов верхней
юры и самых низов нижнего ме-
ла (титон — нижний валанжин).
Строение ринхолитов проана-
лизировано с помощью скани-
рующего электронного микро-
скопа Tescan-2300 на попере-
чных шлифовках капюшона*,
которые были специально про-
травлены раствором HCl для вы-
явления формы кристаллов.

* Капюшон — передняя часть ринхолита.



Основные типы структуры ринхолитов и их стратиграфическая приуроченность.

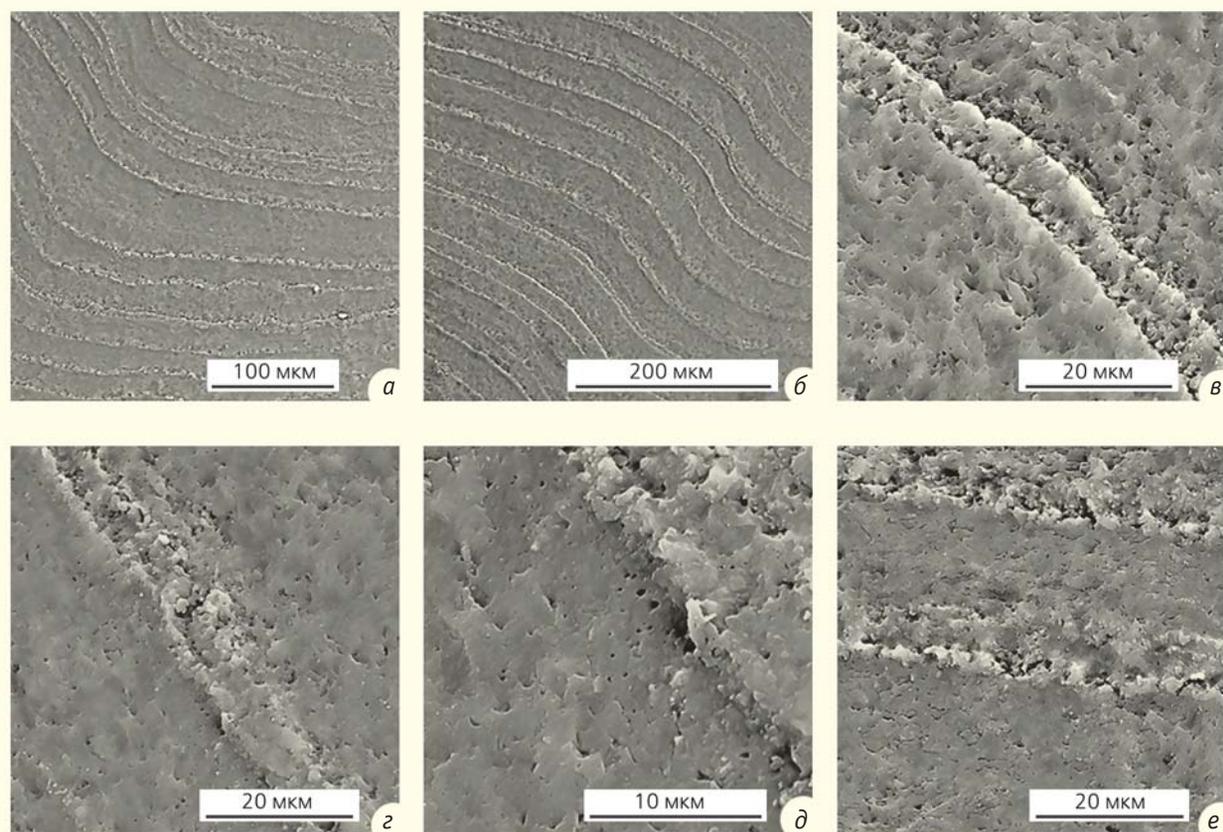
Здесь и далее фото В.Н.Комарова

Все изученные ринхолиты образованы многократно чередующимися слоями кальцита, но характеризуются различными типами структуры.

Представители подрода *Akidocheilus (Planecapula)* сложены слоями мелкокристаллического (толщина слоев 0.8—6.3 мкм) и слоями скрытокристаллическо-

го (5.5—33.3 мкм) кальцита. Мелкокристаллический кальцит у представителей этого рода состоит из многочисленных кристаллических элементов разнообразной формы. Их длина обычно варьирует от 1.26 до 2.6 мкм, отношение длины к ширине составляет 1.7—3.4. Определенной закономерности в изменении

ширины вытянутых кристаллитов не установлено, у большинства она почти постоянна по всей длине. У некоторых наблюдаются заостренные с одной или с обеих сторон внешние окончания. Удлиненные кристаллические элементы отчетливо ориентированы поперек простираения слоев, что наиболее наглядно



Структурные особенности ринхолитов рода *Gonatocheilus*: а, б — изгибающиеся слои скрытокристаллического кальцита; в—д — скрытокристаллический кальцит с микропорами; е — сложно переплетающееся чередование участков неправильной формы с многочисленными тесно расположенными микропорами и участков, состоящих из крошечных кристаллических элементов, выраженных в рельефе в виде сближенных бугорков.

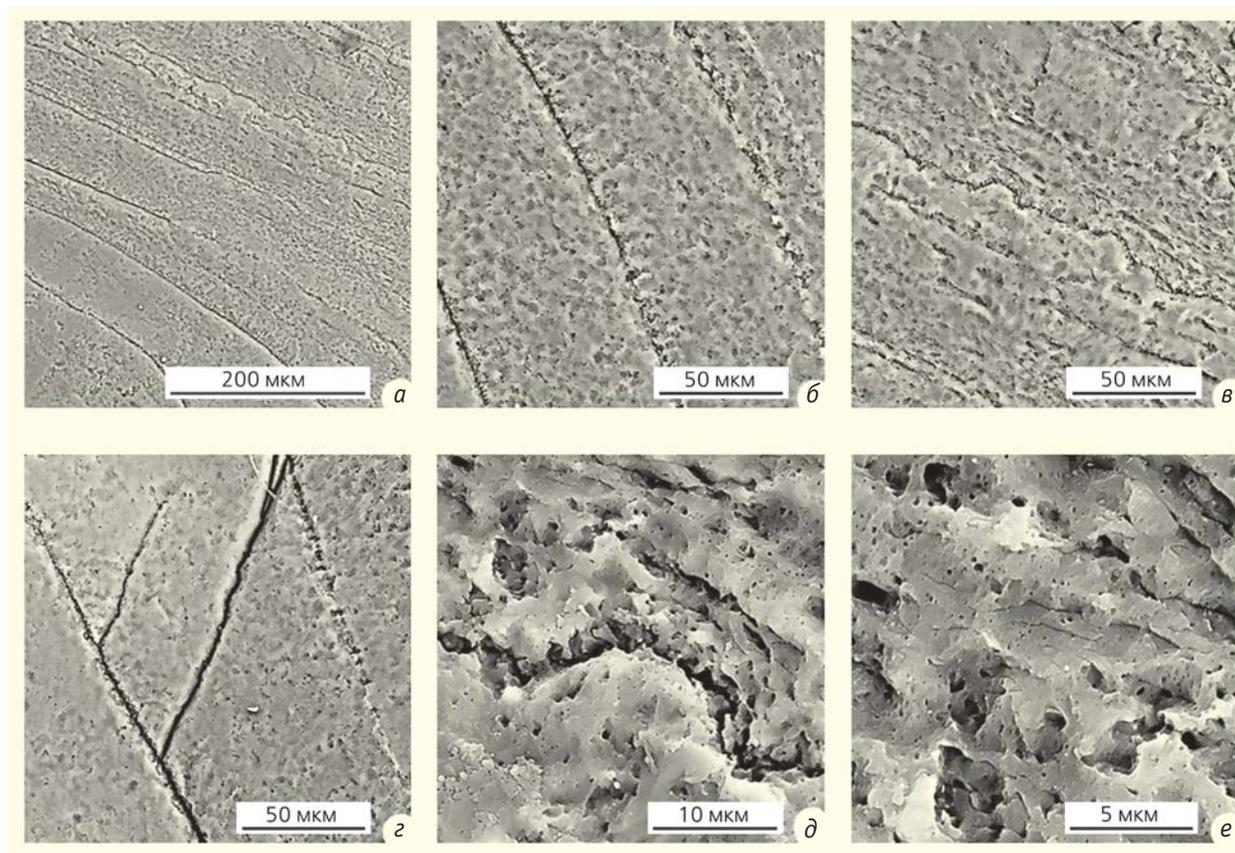
видно в слоях мелкокристаллического кальцита повышенной толщины. Слои скрытокристаллического кальцита образованы тонкоагрегатным, монолитным веществом, представляющим в целом сплошную фарфоровидную массу с многочисленными тесно расположенными микропорами.

Представители подрода *Hadrocheilus* (*Hadrocheilus*) сложены слоями однородного зернистого (2.0—17.2 мкм) и однородного скрытокристаллического (74.0—87.0 мкм) кальцита. Зернистый кальцит у *Hadrocheilus* (*Hadrocheilus*) образован многочисленными «зернами», отличающимися большим морфологическим разнообразием (но в целом более или менее изометричными), размером от десятых долей микрометра до 3.0—7.0 мкм. Зерна

характеризуются отсутствием отчетливо выраженных кристаллографических очертаний и имеют, как правило, сглаженные края. Их форма (в сечениях) бывает круглой, овальной, округленно-четырёхугольной, округленно-треугольной или неправильной. Различные по очертаниям и размерам зерна, в том числе и немного удлинённые, распределены в слоях хаотически. Никаких элементов их ориентировки или дифференциации по размерам или другим признакам не отмечено. Слои скрытокристаллического кальцита, как и у представителей подрода *Akidocheilus* (*Planescapula*), образованы тонкоагрегатным, монолитным веществом, представляющим в целом сплошную фарфоровидную массу с многочисленными тесно

расположенными микропорами. В ней наблюдались линии, которые можно трактовать как следы перерывов роста слоев скрытокристаллического кальцита. К особенностям строения скрытокристаллического кальцита у *Hadrocheilus* (*Hadrocheilus*) можно отнести необычную орнаментацию из многочисленных близких к изометричным полигональных участков, размер которых варьирует от десятых долей микрометра до 2.0 мкм.

Представители рода *Gonatocheilus* сложены слоями неоднородного скрытокристаллического кальцита (4.8—67.7 мкм). В нем удалось обнаружить сложно переплетающееся чередование участков неправильной формы с многочисленными тесно расположенными микропорами и участков, состоящих из



Структурные особенности ринхолитов подрода *Leptocheilus* (*Leptocheilus*): а — чередование слоев скрытокристаллического кальцита; б, в — неровные границы между слоями скрытокристаллического кальцита; г — перекрестная штриховка в скрытокристаллическом кальците, состоящая из двух систем параллельных бороздок; д, е — скрытокристаллический кальцит с микропорами.

крошечных кристаллических элементов, выраженных в рельефе в виде сближенных бугорков. Микропоры имеют размеры 2.0–6.0 мкм и менее, очертания их — линзовидные и удлиненно-овальные. Все микропоры отчетливо субпараллельны, их продольные оси ориентированы перпендикулярно по отношению к простираению слоев кальцита. В межпоровых участках строение скрытокристаллического кальцита подчеркивается очень тесно расположенными мельчайшими, слабо удлиненными бугорками каплевидной или субовальной формы. Длина бугорков примерно одинакова — до 1 мкм. Все бугорки субпараллельны и ориентированы поперек простираения слоев.

Представители подрода *Leptocheilus* (*Leptocheilus*) сложены

слоями однородного скрытокристаллического кальцита (2.3–129.5 мкм), строение которого аналогично рассмотренному ранее. Иногда в пределах слоев скрытокристаллического кальцита наблюдается отчетливая перекрестная штриховка, состоящая из двух систем параллельных бороздок, ориентированных под углами 35–50° к границам слоев. Штрихи не ограничиваются отдельными слоями, а пересекают сразу несколько из них. Расстояние между параллельными штрихами составляет от 10 до 45.5 мкм. При большом увеличении видно, что каждый штрих представляет собой бороздку с параллельными краями шириной до 3.1 мкм. Иногда штрихи плохо выражены и угадываются по серии вытянутых в ряды углублений, ориентиро-

ванных соответствующим образом. Похожая, только значительно более тонкая штриховка наблюдалась и при еще больших увеличениях. Расстояние между этими штрихами составляет всего 0.4–0.6 мкм.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы. Как уже отмечалось, ринхолиты состоят из многократно переслаивающихся слоев кальцита различного строения. Это может означать, что рост данных минеральных структур в организме происходил не непрерывно, а импульсами, по всей видимости, разной продолжительности. Вероятная причина этого процесса обсуждалась ранее [6]. В свою очередь, следы остановок роста более мелкого порядка зафиксированы только в скрытокристаллическом каль-

ците. В слоях мелкокристаллического и зернистого кальцита они не обнаружены, что, вероятно, свидетельствует о том, что данные слои могли формироваться одновременно.

У ринхолитов установлены четыре разных типа структуры. Представители подрода *Akidocheilus* (*Planescapula*) сложены слоями мелкокристаллического (с кристаллитами, ориентированными поперек слоев) и скрытокристаллического кальцита. Подрод *Hadrocheilus* (*Hadrocheilus*) состоит из слоев однородного зернистого (с зернами, отличающимися случайной ориентировкой оптических осей) и однородного скрытокристаллического кальцита. Ринхолиты рода *Gonatocheilus* образованы слоями неоднородного скрытокристаллического кальцита, подобный тип структуры обнаружен впервые. Ринхолиты подрода *Leptocheilus* (*Leptocheilus*) сформированы слоями однородного скрытокристаллического кальцита, и этот тип строения выявлен у ринхолитов также впервые. Систематический ранг установленных отличий в типах структуры ринхолитов можно предварительно оценить как родовой или подродовой.

Слои зернистого кальцита значительно толще слоев мелкокристаллического кальцита. Слои скрытокристаллического кальцита всегда толще (в 5–5.5 раз) слоев как мелкокристаллического, так и зернистого кальцита. Это позволяет со всей определенностью считать, что основную конструктивную роль

в строении ринхолитов играл именно скрытокристаллический кальцит, за счет которого происходило утолщение ринхолитов и увеличение их прочностных свойств. Различие в толщине слоев скрытокристаллического кальцита у ринхолитов изученных родов связано, возможно, с разным образом жизни головоногих моллюсков — ринхолитоносителей. Максимальную толщину имеют слои скрытокристаллического кальцита у *Leptocheilus* (*Leptocheilus*), а минимальную — у форм, отличающихся облегченным капюшоном, — *Akidocheilus* и *Gonatocheilus*.

У представителей всех родов толщина слоев скрытокристаллического кальцита уменьшается от центральной части ринхолитов в направлениях к спинной и спинно-боковым поверхностям капюшона ринхолитов, что подтверждает ранее выполненные наблюдения [7]; вероятно, это свойственно всем ринхолитам. Толщина отдельных слоев почти всегда незаконмерно меняется в довольно значительных пределах. Неравномерное утолщение слоев иногда приводит к тому, что их общая прямолинейность нарушается, и они приобретают характерную дугообразную или волнообразную изогнутость.

В строении скрытокристаллического кальцита обнаружена гетерогенность. Его структурные особенности богаче, чем у мелкокристаллического и зернистого кальцита.

Хотя проследить эволюцию типов структуры у изученных

родов и подродов, каждый из которых характеризуется длительной историей существования, пока не представляется возможным, проведенный анализ позволяет наметить предварительный вывод об изменении типов структуры в раннем мелу. В эту эпоху произошло усложнение строения ринхолитов, связанное с появлением в них наряду со скрытокристаллическим также кальцита, характеризующегося мелкокристаллической и зернистой структурой.

Особенности структуры важны для более полноценного сопоставления ринхолитов и их идентификации, так как они наполняют новым содержанием традиционные представления, основанные только на морфологическом анализе. Дальнейшее изучение структуры представляется наиболее перспективным в эволюционном аспекте. Целенаправленный подбор разновозрастных представителей ринхолитов и их изучение позволят решить актуальный вопрос о степени структурной неоднородности данной группы окаменелостей, определить время появления различий в типах структуры у разных таксонов и пролить свет на филогенетические взаимоотношения между имевшими ринхолиты головоногими моллюсками. Возможно, что в будущем полученные новые данные послужат и для разработки более общей проблемы — познания особенностей и причин разнообразия структур, образующихся в процессах биоминерализации. ■

Литература

1. Комаров В.Н. Ринхолиты — знакомые и неожиданные // Природа. 2001. №5. С.29—31.
2. Барсков И.С. Об уровнях структуры скелетной ткани и терминологии структуры скелета моллюсков // Палеонтол. журн. 1974. №3. С.125—130.
3. Комаров В.Н. Структурные особенности ринхолитов рода *Akidocheilus* Till // Изв. вузов. Геология и разведка. 2000. №4. С.154—157.
4. Комаров В.Н. О структуре ринхолитов // Палеонтол. журн. 2001. №5. С.35—41.
5. Комаров В.Н. Структура меловых ринхолитов Юго-Западного Крыма // Эволюция жизни на Земле. Материалы II Международного симпозиума. 2001. Томск, 2001. С.278—279.
6. Комаров В.Н. Ринхолиты — стрелки геологических часов? // Природа. 2008. №4. С.55—58.
7. Комаров В.Н. Изучение ринхолитов методом последовательных сериальных пришлифовок // Изв. вузов. Геология и разведка. 1997. №3. С.153—155.

Переводчики — коллеги И.П.Павлова

Э.А.Космачевская,
кандидат медицинских наук
Л.И.Громова

Мемориальный музей-квартира академика И.П.Павлова
Санкт-Петербург

Сличностью Ивана Петровича Павлова связаны творческие судьбы огромного числа отечественных и зарубежных ученых. В двух томах опубликованной в 2011 г. «Павловской энциклопедии» упоминается более 500 имен врачей и представителей самых разных научных направлений — от физиологов до математиков и физиков, которые имели то или иное отношение к экспериментальным исследованиям, проводившимся в павловских лабораториях [1]. Интересно, что с Павловым связаны страницы жизни и немало числа деятелей, посвятивших себя совершенно другим, далеким от науки видам творчества — например, выдающегося театрального деятеля К.С.Станиславского [2], знаменитых художников И.Е.Репина, М.В.Нестерова, Н.Н.Дубовского и др. [3], известного кинорежиссера В.И.Пудовкина [4]. Пример еще одного такого необычного «пересечения» представляют малоизвестные факты из жизни талантливых русских литературных переводчиков — Р.Я.Райт-Ковалевой и Н.А.Холодковского, которых и посвящена наша статья.

Р.Я.Райт-Ковалева

Имя Риты Райт-Ковалевой (1898—1989) хорошо известно в литературном мире. Ее замечательные переводы произведений Г.Бёлля, Ф.Кафки, Дж.Сэлинджера, Э.Хемингуэя, У.Фолкнера, К.Воннегута признаны явлением в современной отечественной прозе. О некоторых из этих зарубежных авторов советские граждане впервые узнали благодаря именно ей, а романы Курта Воннегута, например, в ее изложении на русском языке сделали его знаменитым сначала у нас, и только потом у себя на родине. Так что Райт-Ковалева заслуженно занимает достойное место в истории отечественной литературы.

Но мало кто знает, что ее имя навсегда вошло и в историю отечественной науки, несмотря на то что она в 34 года решительно отказалась от судьбы научного исследователя-экспериментатора, сде-



Портрет Р.Я.Райт-Ковалевой. 1932 г.

лав выбор в пользу своих литературных интересов. И хотя исследовательская деятельность Райт-Ковалевой связана с именем самого Павлова, знаменитого физиолога, первого в России лауреата Нобелевской премии, подробности «научной страницы» ее жизни малоизвестны. Поэтому мы и решили восполнить этот пробел.

Псевдоним Рита Райт, по собственным словам писательницы, родился очень просто: Ритой ее звали дома, а «пописывала» она (по-английски писать — to write) с юных лет. Настоящее ее имя — Раиса Яковлевна Черномордик, в замужестве Ковалева. Родилась она в Херсонской губернии в семье врача, детские годы провела в Курске, где тогда работал отец, который, как хороший специалист, был знаком практически всем жителям города. Решив продолжить семейную традицию и получить медицинское образование, она начала свое обуче-

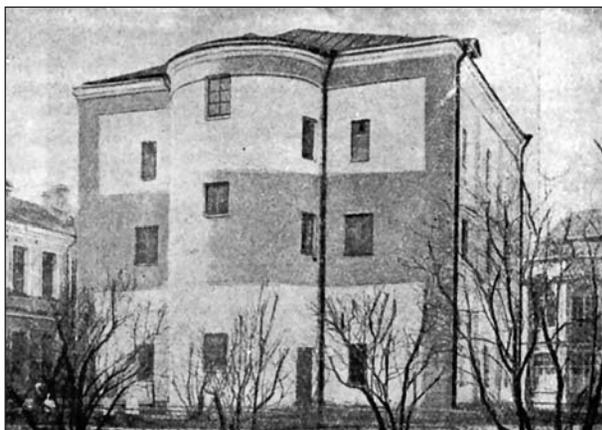
ние в Харькове. Здесь познакомилась с Велимиром Хлебниковым, и его стихи стали объектом ее первых, вполне успешных опытов поэтических переводов на немецкий язык, который она хорошо знала с детства. Продолжила образование Раиса Яковлевна в Москве, где в 1923 г. окончила медицинский факультет 2-го Московского университета. Испытывая непреодолимую тягу к литературному творчеству, она параллельно училась на трехгодичных курсах в созданном в Москве в 1921 г. Валерием Брюсовым учебном заведении (с 1924 г. Высший литературно-художественный институт им. В.Я. Брюсова), готовившем писателей, поэтов, критиков и переводчиков. С 1920 г. работала также в «Окнах РОСТА», общаясь там с В.В. Маяковским, другими поэтами и художниками, создававшими острые сатирические плакаты. Ее увлечение литературными переводами становилось все серьезней — в 1921 г. она перевела на немецкий язык «Мистерию-Буфф» Маяковского.

Вскоре после получения диплома врача Райт-Ковалева уехала в Ленинград, где прожила семь лет. В большинстве биографических очерков о ней весь этот период ее жизни в северной столице сведен к одной-двум строкам, и многие авторы ошибочно связывают его целиком с физиологическим отделом И.П. Павлова в Институте экспериментальной медицины (ИЭМ). Но это не так. Она, действительно, по собственной инициативе выбрала павловский отдел ИЭМ, но работала здесь только два года — 1925-й и 1926-й, занимаясь в качестве практиканта экспериментальной физиологией. По указанию Павлова непосредственным руководителем ее научной работы в отделе стал один из его ближайших учеников — Дмитрий Степанович Фурсиков (1893—1929). Тематика проводившихся ею исследований была связана с вопросом, служившим в павловских лабораториях уже на протяжении не-

скольких лет предметом углубленного изучения: «что делается с корковым центром условного рефлекса во время осуществления безусловного?» [5. С.168—169]. Экспериментальными разработками детальных вопросов, возникавших по ходу решения этой проблемы, занималось в те годы в павловском отделе немало молодых биологов и медиков, пробующих свои силы в науке. Один из них, ровесник Райт-Ковалевой, тоже практикант, проводивший исследования также под шефством Фурсикова, — Евгений Михайлович Крепс (1899—1985), ставший впоследствии известным физиологом, академиком. В своей книге «О прожитом и пережитом» [6] он вспоминал, каким доброжелательным, внимательным было отношение и самого Ивана Петровича, и всех сотрудников отдела к молодым исследователям. По каждому возникавшему вопросу можно было получить подробную консультацию у любого «условника» — так называли сотрудников отдела, тоже в основном молодых, но уже проработавших несколько лет по павловской условно-рефлекторной методике. Неполадки, связанные с технико-методической стороной исследований, обычно безотказно помогал устранить незаменимый в этом смысле помощник Павлова, его ученик Е.А. Ганике. Крепс называл Фурсикова главным «своим ментором по условным рефлексам», в равной степени он был таковым и для практикантки Райт-Ковалевой, и для других «начинающих» в отделе. Фурсиков первым обнаружил и изучал явление корковой индукции, положительной и отрицательной. Павлов тогда с особым интересом следил за работой этого талантливого физиолога, нередко присутствовал на опытах и самого Фурсикова, и его подопечных молодых практикантов и, как вспоминал Крепс, окрестил подопытного пса, на котором феномен индукции воспроизводился особенно четко, «гениальной собакой» [6. С.57—59]. Надо сказать, что и некоторые другие ученики Павлова в своих воспоминаниях отмечали, что обычно одобрение Ивана Петровича в адрес сотрудника выражалось именно таким косвенным образом — похвалой в адрес подготовленной им собаки, как хорошо она работает.

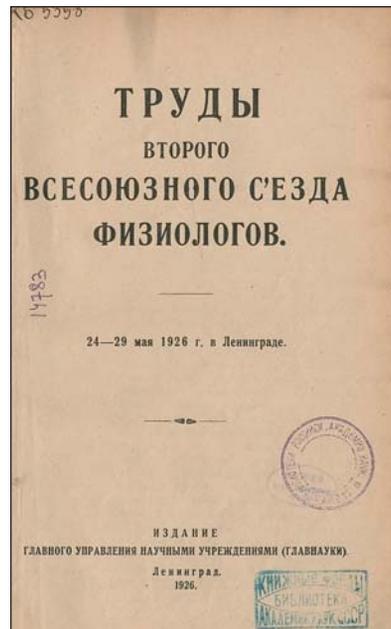
Конкретные опыты Райт-Ковалевой заключались в проведении многократных «покрытий» выработанных у собаки условных кислотных рефлексов (рефлексов на кислоту) безусловным пищевым рефлексом с целью выявления последствий их возможного взаимовлияния. Интересно, что по этой же тематике работала тогда в отделе отца и Вера Ивановна Павлова — единственная из четверых детей ученого, кто занимался физиологией.

Для получения более достоверных сведений Райт-Ковалева проводила опыты на собаках с различными типами нервной системы — возбудимой и тормозной. Павлов только что, в 1924 г., сформулировал свою теорию о типах нервной деятельности, создав таким образом четкое физиологическое обоснование издавна принятой классифи-

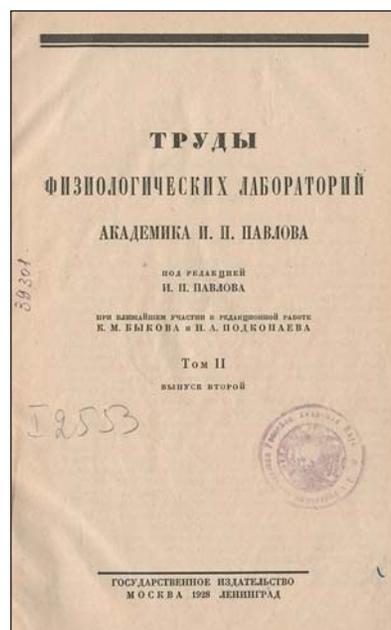
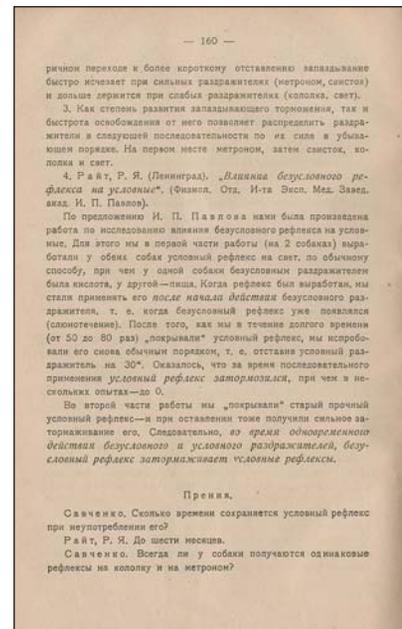


«Башня молчания» — здание специальной лаборатории на территории Института экспериментальной медицины, оборудованной звукопроницаемыми камерами для проведения опытов по условно-рефлекторной методике И.П. Павлова.

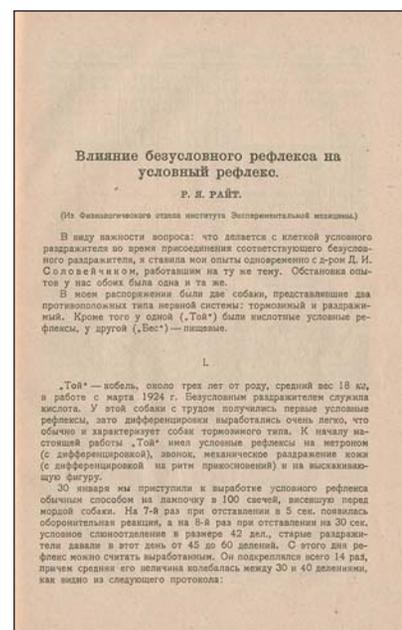
кации темпераментов — сангвник, флегматик, холерик, меланхолик, и считал необходимым учитывать и отмечать разницу в ходе исследований в зависимости от «характера» животного. И действительно, хотя в опытах Райт-Ковалевой «основной результат получился одинаковым — торможение “покрываемых” условных рефлексов, но в деталях он был разный, в зависимости от типа нервной системы» [5. С.168—169]. Анализ полученных данных позволил Райт-Ковалевой сделать вывод, что «при очень возбудимой нервной системе... условный рефлекс обнаруживает большее сопротивление тормозящему действию соответствующего безусловного раздражителя, чем при тормозной». Кроме того, в своих опытах она продемонстрировала, что «недавно выработанный условный рефлекс... легче тормозился “покрытиями”, чем более прочный, старый рефлекс» [7. С.160]. В своей книге «История учения об условных рефлексах» [5] ученик Павлова Ф.П.Майоров пишет, что опыты Райт-Ковалевой подтвердили, что «во время действия безусловного раздражения происходит торможение коркового центра условного рефлекса», т.е. безусловное рефлекторное раздражение, произведенное до условного, угнетает условный рефлекс. Результаты исследований Райт-Ковалева представила в докладе на II Всесоюзном съезде физиологов, проходившем в Ленинграде в 1926 г. (первый съезд физиологов России состоялся в 1917 г., собрав около 50 ученых). Во втором съезде приняло участие более 400 человек, приехавших из разных областей страны, было организовано семь секций, из них пять — физиологических, на которых было заслушано 223 доклада [8. С.310]. Один из этих секционных докладов — «Влияние безусловного рефлекса на условные» — и сделала Райт-Ковалева. Тезисы доклада были опубликованы в «Трудах II Всесоюзного съезда физиологов» [7], а сам доклад, позже, — в «Трудах Физиологических лабораторий Павлова» [9].



«Труды II Всесоюзного съезда физиологов»: обложка и страница с текстом тезисов доклада Р.Я.Райт-Ковалевой.



«Труды Физиологических лабораторий И.П.Павлова»: обложка и первая страница статьи Р.Я.Райт-Ковалевой.



Два года научно-исследовательской деятельности Райт-Ковалевой в ИЭМ, проявленные ею при проведении экспериментов настойчивость и тщательность стали основанием для того, чтобы ее имя навсегда было вписано в число учеников знаменитой физиологической школы Павлова [10. С.203—204]. Полученные ею результаты вкрупне с итогами других экспериментаторов, также зани-



Раиса Яковлевна Райт-Ковалева в последние годы жизни.

мавшихся в павловских лабораториях исследованиями по вопросам физиологии высшей нервной деятельности, вошли в виде обобщенных выводов в один из фундаментальных трудов Павлова — «Лекции о работе больших полушарий головного мозга» [11], опубликованные в 1927 г.

Последующие пять лет Райт-Ковалева продолжала заниматься исследовательской деятельностью, но в другом направлении — по тематике, связанной с физиологическим контролем отравляющих веществ. Она работала в токсикологической лаборатории ИЭМ, которую возглавлял известный фармаколог Алексей Алексеевич Лихачев (1866—1942), один из основоположников отечественной токсикологии, с 1914 г. изучавший действие боевых отравляющих веществ на организм и разрабатывавший методы защиты. Они с Павловым были хорошо знакомы еще с 1890-х годов, как коллеги по Военно-медицинской академии (ВМА), а в 1917 г. оба принимали участие в организации Российского физиологического общества [12. С.72]. В 1934 г. токсикологическую лабораторию, как и некоторые другие, сократили в связи с реорганизацией ИЭМ, ставшего Всесоюзным институтом экспериментальной медицины (ВИЭМ). Дирекцию института перевели в Москву, и старейшее медико-биологическое учреждение страны превратилось в его ленинградский филиал.

Все годы жизни в Ленинграде Райт-Ковалева одновременно с научно-исследовательской деятельностью занималась литературным творчеством, работой над книгой о Маяковском, переводами. К этому активно склонял ее и Самуил Яковлевич Маршак (1887—1964), с которым в конце 1924 г. вскоре после приезда в Ленинград она познакомилась, а потом дружила всю жизнь. Раиса Яковлевна вспоминала, как на одной из первых же встреч «Маршак тут же подробно изложил план

той книги, которую я — молодой физиолог, должна, вот именно ДОЛЖНА написать для детей» [13. С.261]. Можно с большой долей уверенности сказать, что Маршак, оценив проявленные ею уже тогда писательские способности, переводческий талант, сыграл главную роль в ее выборе жизненного пути. Спустя годы на титульном листе третьего издания стихотворений Р.Бернса в переводе Райт-Ковалевой (1954) он в шутку написал:

*Печальнее ее история,
Чем у Ромео и Джульетты:
От Павловской лаборатории
Она дошла до оперетты.*

Под «опереттой», по словам Райт-Ковалевой, имелся в виду сделанный ею для композитора Г.Г.Крейтнера перевод старинной английской комедии, к которому она присовокупила «какие-то свои стишки — вышла очень веселая и вполне «безыдейная» музыкальная комедия «О, Сюзанна!».

В 1932 г. она окончательно прервала свои «научные попытки», ушла из ИЭМ и все последующие годы занималась только литературным трудом.

Н.А.Холодковский

Судьба еще одного замечательного русского переводчика — Николая Александровича Холодковского (1858—1921) — также пересеклась с творческой судьбой Павлова. В отличие от Райт-Ковалевой, для которой литературная деятельность стала делом жизни, для Холодковского писательское творчество, переводы были увлечением, как теперь говорят — хобби. Однако талант, эрудиция, ответственное отношение к оригиналу при изложении текста на русском языке сделали его переводы блестящими и позволили их автору занять почетное место в истории отечественной литературы. Основным же занятием Холодковского были научные исследования, и именно как ученый — зоолог, энтомолог, анатом — он хорошо известен в истории отечественной науки. Ему принадлежат около 180 трудов по различным разделам зоологии, главным образом энтомологии и паразитологии. Среди них — первый в России «Атлас человеческих глист» [14], фундаментальное руководство по энтомологии, труды по сравнительной анатомии, по теории эволюции, общим вопросам биологии. В 1909 г. Холодковский стал членом-корреспондентом Императорской Санкт-Петербургской академии наук. В 1947 г. Академия наук СССР учредила премию его имени по энтомологии, Президиум Академии наук принял постановление проводить ежегодно в день смерти ученого чтения в его память.

Павлов и Холодковский были знакомы на протяжении многих лет. Оба были выпускниками ВМА, завершившими обучение почти одновременно (1879 и 1880 гг. соответственно), и оба,

также почти одновременно, стали ее профессорами. Холодковский заведовал кафедрой зоологии и сравнительной анатомии (1891—1921), Павлов — сначала кафедрой фармакологии (1890—1895), а затем физиологии (1895—1924). В этот период их отношения стали фактически дружескими. Как коллеги, они часто встречались, нередко одновременно назначались Конференцией ВМА членами какой-либо очередной академической комиссии, создававшейся для решения насущных вопросов академической жизни. В 1896 г., например, они совместно с В.М.Бехтеревым вошли в комиссию по разработке проекта новых испытаний на степень доктора медицины, при этом Иван Петрович поддержал идею Холодковского об учреждении степени магистра, чтобы придать последующей степени «доктора медицины большее значение». Приблизительно тогда же, высоко оценивая профессионализм Холодковского, он предложил ввести его как нового члена в состав Отдела содействия самообразованию (образован при Педагогическом музее военно-учебных заведений в 1895 г.) для составления качественной программы подготовки по зоологии. В 1901 г. Павлов, назначенный Конференцией ВМА в комиссию по рассмотрению трудов Холодковского, содействовал положительному решению вопроса о выдаче академической субсидии на их опубликование. Нелишним будет упомянуть, что оба были прекрасными лекторами. И.С.Цитович, в будущем один из известных учеников Павлова, отмечал в своих воспоминаниях, с каким увлечением он, курсант ВМА, слушал замечательные лекции Павлова по физиологии и Холодковского по естествознанию, а также «учение и теорию Дарвина» в его изложении [15. С.257].

Активная научная и преподавательская деятельность не помешала Холодковскому проявить свои блестящие лингвистические способности, поэтический дар, талант переводчика. Причем в своей переводческой деятельности он полноценно использовал научный подход:



Николай Александрович Холодковский, профессор Военно-медицинской академии.

начиная очередную работу, досконально изучал оригинал, а затем сопровождал большинство своих переводов подробными историко-литературными комментариями. При этом старался как можно более полно сохранить, точнее, воссоздать в своих переводах художественные достоинства оригинала.

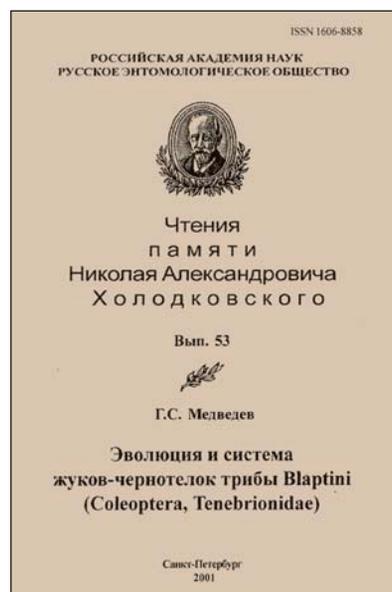
В его переводах опубликовано немало так называемых «мировых поэм»: «Трагедия человечества» И.Мадача, «Освобожденный Прометей» З.Липинера, «Потерянный рай» Дж.Мильтона, «Храм природы» Э.Дарвина, «Юлий Цезарь» У.Шекспира. Известны также его переводы некоторых произведений Дж.Байрона, Ф.Шиллера, Г.Лонгфелло, Н.Ленау.

Для издательства «Всемирная литература» он впервые перевел на русский язык трилогию К.Ф.Хеббеля «Нибелунги», которая была опубликована в 1934 г., уже после его кончины. Эта работа и более поздний вариант Б.Пастернака считаются лучшими переводами знаменитого произведения немецкого драматурга в отечественной литературе. Для этого же издательства Холодковский осуществил переводы романа И.Ф.Гёте «Поэзия и правда», произведений В.Хауфа, Э.Т.А.Гофмана, А.Вильбрандта, Г.Зудермана и др.

Но самым значительным его литературным трудом стал перевод на русский язык «Фауста» Гёте. Первое издание вышло в 1878 г., и вплоть до 1914 г., когда было опубликовано последнее из 12 состоявшихся за эти годы переизданий, т.е. в течение почти 40 лет, Холодковский продолжал совершенствовать свой труд. За эту работу в 1917 г. Академия наук присудила ему премию им.А.С.Пушкина.

Жена И.П.Павлова, Серафима Васильевна, вспоминала, как во время летнего отдыха они с Иваном Петровичем «читали «Фауста» в переводе Холодковского. С того времени и до самой своей кончины Иван Петрович любил перечитывать это великое творение» [16. С.199].

В личной библиотеке Павлова в его Мемориальном музее-квартире в Санкт-Петербурге хранится восьмитомное «Со-



Обложка доклада, вошедшего в программу 53-х чтений, посвященных памяти Н.А.Холодковского (6 апреля 2001 г.).



Главное здание Военно-медицинской академии. Санкт-Петербург.

Фото К.Буллы

брани сочинений Гёте в переводе русских писателей» (издание Н.В.Гербеля, СПб., 1892—1893), где опубликованы не только «Фауст», но и «Эрвин и Эльмира», «Шутка, коварство и месть», «Пандора», а также более 50 стихотворений, песен, баллад, сонетов, элегий, переведенных талантливым ученым-зоологом.

Здесь немало и других книг, в которых представлены работы Холодковского. Например в «Пол-

ном собрании сочинений Виллиама Шекспира в переводе русских писателей» того же издателя (СПб., 1887) опубликованы его переводы трагедии «Перикл», поэм «Венера и Адонис», «Лукреция», «Страстный пилигрим», «Жалоба влюбленной».

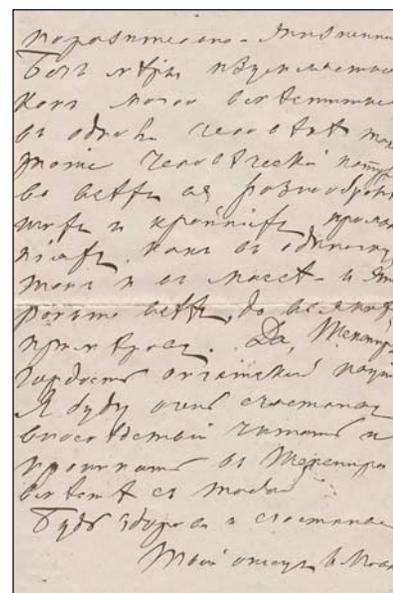
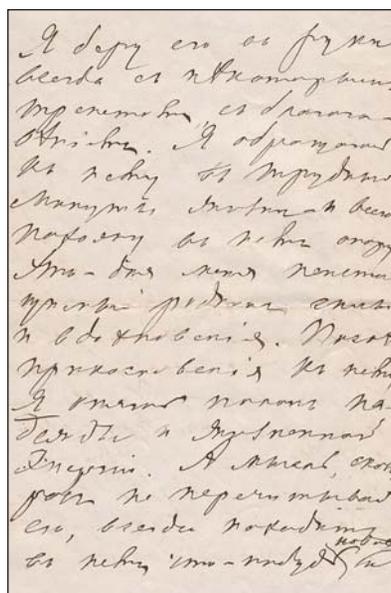
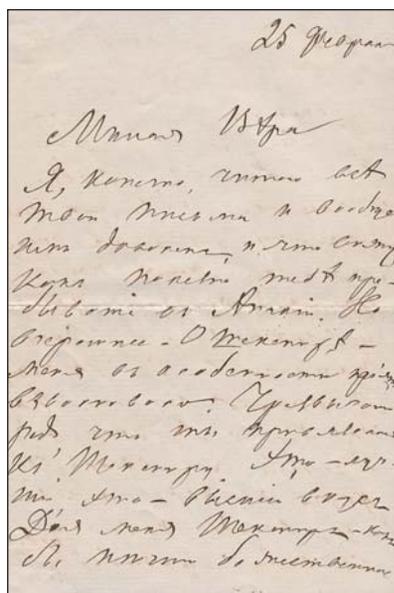
Среди книг Павлова есть и «Полное собрание сочинений Шиллера» того же издателя (СПб., 1893), где особый интерес вызывают переведенные Холодковским 27 объемных писем Шиллера под общим названием «Об эстетическом воспитании человека», представляющих, по сути, серьезное теоретическое исследование на эту тему.

* * *

Любопытно, что Павлов и сам «прикоснулся» к переводческой деятельности. «Я не только физиолог, но и человек, думающий на разные темы», — говорил он [17. С.221]. Действительно, помимо науки, стоявшей для него на первом месте, в его жизни было немало различных увлечений — энтомология, астрономия, история, литература. Увлечение литературой выразилось не только в читательском азарте (в упомянутой выше его личной библиотеке около 3 тыс. книг по интересовавшим его областям знаний, любимых поэтов и писателей, различных справочных изданий [18]), но и в проявлении им самим определенных творческих способностей в этой области. Он был прекрасным рассказчиком, и приведенные в воспо-



Титульный лист биографического очерка Н.А.Холодковского о жизни и творчестве И.В.Гёте.



Письмо И.П.Павлова к дочери Вере. Фонд Мемориального музея-квартиры И.П.Павлова в Санкт-Петербурге.

минаниях современников эти (в основном очень короткие) рассказы поражают образностью высказываний, чувством юмора, глубиной и тонкостью заключений. Свои профессиональные лекции он строил четко, логично, выражая сложные идеи просто и доходчиво. Тексты же его выступлений перед общественностью — «Рефлекс цели»* [19. С.359—365], «Рефлекс Свободы»** [19. С.365—370], «Об уме вообще» и «О русском уме»*** [20] могут сравниться с лучшими образцами публицистических очерков. Он прекрасно владел эпистолярным искусством, и многие его письма к жене, близким, друзьям представляют собой истинные шедевры этого жанра [12; 16. С.54—83, 111—167]. Приведем одно из его писем к дочери Вере, написанное в 1912 г. (когда она ездила в Англию для усовершенствования в английском языке) и хранящееся ныне в фондах Мемориального музея-квартиры Павлова в Санкт-Петербурге.

«25 февраля.

Милая Вера.

Я, конечно, читаю все твои письма и вообще очень доволен, и[отому] что вижу, как полезно тебе пребывать в Англии. Но вчерашнее — о Шекспире — меня в особенности приятно взволновало. Чрезвычайно рад, что ты привлеклась к Шекспиру. Это — лучший, это — высший вкус. Для меня Шекспир как бы нечто божественное. Я беру

его в руки всегда с некоторым трепетом, с благоговением. Я обращаюсь к нему в трудные минуты жизни — и всегда нахожу в нем опору. Это для меня пример редкой силы и вдохновения. После прикосновения к нему я опять полон надежды и жизненной энергии. А мысль, сколько раз не перечитывал его, всегда находит в нем что-нибудь новое и поразительно жизненное. Без меры изумительно, как могло вместиться в одном человеке такое знание человеческой природы во всех ее разнообразных типах и крайних проявлениях. Да, Шекспир — гордость английской нации. Я буду очень счастлив читать и проникать в Шекспира вместе с тобой. Будь здорова и счастлива.

Твой отец И.Павлов».

Иван Петрович пробовал себя и в поэзии. По воспоминаниям современников, была тетрадь с его стихами, на обложке которой стояла криптограмма «ВОЛВАП» (Павлов, прочитанный справа налево). К сожалению, тетрадь пока не найдена, так что поэтическое творчество Павлова требует дополнительного исследования. Единственное, что дошло до нас, это выполненный Иваном Петровичем перевод с немецкого одного из стихотворений Г.Гейне. Стихотворение, о котором идет речь, — «Ein Fichtenbaum steht einsam», входит в «Книгу песен» знаменитого поэта. Оно опубликовано на русском языке в 17 вариантах, и среди переводчиков — М.Ю.Лермонтов, А.А.Фет, Ф.И.Тютчев, В.И.Майков и другие известные поэты. Наиболее популярной стала лермонтовская «Сосна» («На севере диком...»). И хотя стихотворение Гейне в переводе Павлова опубликовано [21], в том числе и в журнале «Природа», юбилейный выпуск которого в сентябре 1999 г. был полно-

* Речь на III Съезде по экспериментальной педагогике в Петрограде, 2 января 1916 г.

** Речь на заседании отделения Петроградского биологического общества, май 1917 г.

*** Речи «Об уме вообще» и «О русском уме» были произнесены в апреле—мае 1918 г.

стью посвящен 150-летию со дня рождения великого ученого [22], считаем, что здесь вполне уместно повторить этот павловский вариант:

*Незыблемо кедр одинокий стоит
На Севере диком, суровом,
На голой вершине, и чутко он спит
Под инистым снежным покровом.
И снится мозучему кедру Она —
Прекрасная пальма Востока,
На знойном утесе, печали полна,
И так же, как Он, одинока.*

Иван Петрович сумел проявить себя и как поэт, и как переводчик. Как и профессионалы в пере-

водческом искусстве — Райт-Ковалева, Холодковский, — он, по нашему мнению, не только сохранил красоту стиха, но и передал замысел автора более точно, чем перевод Лермонтова. В немецком языке слово «ель» существует и в мужском — «der Fichtenbaum», и в женском — «die Fichte» вариантах, и Гейне воспел тоску и грезы северянина Ели-мужчины по восточной красавице Пальме. Сохраняя эту логику, Павлов в качестве символа мужчины выбрал кедр.

Этот пример стихотворного творчества Павлова, пусть даже единственный, без сомнения говорит о присущем великому физиологу литературном таланте. ■

Литература

1. Ноздрачев АД., Поляков ЕЛ., Космачевская ЭА. и др. Павловская энциклопедия. Люди. События. Факты: В 2 т. СПб., 2011.
2. Космачевская ЭА., Громова ЛИ. Лаборатория по изучению творчества актера при Всероссийском театральном обществе // Российский физиологический журнал им.И.М.Сеченова. 2010. Т.96. №6. С.644—649.
3. Громова ЛИ., Космачевская ЭА. Живописная коллекция Ивана Петровича Павлова // Российский физиологический журнал им.И.М.Сеченова. 2009. Т.95. №8 С. 644—649.
4. Космачевская ЭА., Громова ЛИ. «Механика головного мозга» — первый фильм об условных рефлексах // Вопросы истории естествознания и техники. 2012. №4. С.132—141.
5. Майоров Ф.П. История учения об условных рефлексах. М.; Л., 1954.
6. Крепс Е.М. О прожитом и пережитом. М., 1989.
7. Райт-Ковалева Р.Я. Влияние безусловного рефлекса на условные // Труды II Всесоюзного съезда физиологов. Л., 1926. С.160.
8. Физиологические науки в СССР / Отв. ред. Н.П.Бехтерева. Л., 1988.
9. Райт-Ковалева Р.Я. Влияние безусловного рефлекса на условные // Труды Физиологических лабораторий И.П.Павлова. Т.II. Вып.2. М.; Л., 1928. С.87—94.
10. Квасов Д.Г., Федорова-Грот А.К. Физиологическая школа И.П.Павлова. Портреты и характеристики сотрудников и учеников. Л., 1967.
11. Павлов И.П. Лекции о работе больших полушарий головного мозга. М.; Л., 1927.
12. Переписка И.П.Павлова. Л., 1970.
13. Райт-Ковалева Р.Я. Надписи на книгах // Я думал, чувствовал, я жил. Воспоминания о С.Я.Маршаке. М., 1971. С.252—271.
14. Холодковский Н.А. Атлас человеческих глист. Вып.1—3. СПб., 1898—1899.
15. Цитович И.С. Как я учился и работал у Павлова // И.П.Павлов в воспоминаниях современников. Л., 1967. С.251—264.
16. Павлова С.В. Из воспоминаний // И.П.Павлов — первый нобелевский лауреат России. Т.2. СПб., 2004. С.15—281.
17. Музеи Российской академии наук: Альманах-2001. М., 2002.
18. Космачевская ЭА., Громова ЛИ., Боргест А.Н. Библиотека Ивана Петровича Павлова // Российский физиологический журнал им.И.М.Сеченова. 2001. Т.87. №3. С.428—438.
19. Павлов И.П. Избранные труды. М., 1999.
20. Павлов И.П. Об уме вообще. О русском уме // Природа. 1999. №8. С.87—102.
21. Самойлов В.О., Мозжухин А.С. Павлов в Петербурге—Петрограде—Ленинграде. Л., 1989. С.102.
22. Наточин Ю.В. Слово о Павлове // Природа. 1999. №8. С.4—12.

Наука и шарлатаны

Шарлатанство ради денег

К.Д.Ливанов

Институт им.Хаима Вейцмана
Реховот (Израиль)

Чем хуже ваша логика, тем интереснее
следствия, к которым она может привести.

Бертран Рассел

Слово *шарлатан* пришло в русский из французского языка, где оно означало *торговец зельями*, громкий зазывала, с шумом и гамом рассказывающий толпе о новом чудодейственном *снадобье*. Происходит слово, по всей видимости, от итальянского *ciarlare*, что значит *болтать, трепаться*. Классический пример шарлатана для французов — мольеровский Тартюф, который, как известно, «всегда умел щеголевато рядить бессовестность и подлость в то, что свято»*. В русском языке *шарлатан*, как и многие другие слова, заимствованные из французского (о, эти *pechantegaras**!*), приобретает несколько романтическую окраску. Этому отчасти также способствует сложившийся в масс-культуре харизматичный образ авантюриста, «благородного мошенника» — от Остапа Бендера до Дэнни Оушена с его одиннадцатью—двенадцатью—тринадцатью друзьями. Слово *шарлатан* будет мной использоваться часто, и хочется попросить особо впечатлительных читателей помнить, что в первоначальном своем значении *шарлатан* — это все-таки *трепло*.

Теперь пару слов об использовании второго (точнее, первого) слова из названия. *Наука*, казалось бы, слово очевидное. Его разъяснение будет дано в конце второй статьи данного цикла. Хочется только заметить следующее: когда я использую в статье слово *наука* без кавычек, то имею в виду науку «как она должна быть» — некую идеализированную версию науки. Надо сказать, что наука в том виде, в каком она существует сейчас, довольно близка к таковой. Но различия существуют, и о них стоит упомянуть. Причина их в основном в «человеческом факторе». Да, и о людях. Слово *ученые* без кавычек будет означать исключительно хороших ученых. Такие, слава богу, есть, и их много — будем равняться на них.

Еще одно необходимое уточнение — в большинстве случаев в моих статьях слово *наука* будет означать экспериментальную науку, тем самым

отсекая, например, математику. Математика, безусловно, наука (еще какая!), но там играют по несколько иным правилам, нежели в естественных, и я не чувствую себя достаточно компетентным, чтобы их объяснять. Также я не буду говорить о шарлатанах от медицины. Не потому, что не считаю медицину наукой (считаю!), а потому, что их просто слишком много: всевозможные знахари, лекари, колдуны, часть гомеопатов, «народники», альтернативные врачи. Но входить в эту реку уж никак не хочется. В данном цикле статей я расскажу лишь о тех, кто называет себя учеными и пытается выдать придуманное ими за настоящую науку. Этим тоже, поверьте, немало.

Одна из вольностей, допущенных мной при написании этого текста, — разделение известных мне шарлатанов на категории: действующих ради денег и ради идеи, грубо говоря, на мошенников и сумасшедших. Я понимаю всю несостоятельность и спорность этого деления. Однако я готов стоять на своем: есть люди, которые обманывают исключительно для изъятия денег у населения или государства, а есть люди, несущие чушь потому, что искренне в нее верят. Вот этим критерием я и руководствовался. Понятно, что деление это будет неточным и не совсем достоверным — за это вам придется меня простить. Также мне интересно сравнить людей из этих двух групп и попытаться понять, какие из них опаснее для нас с вами. Ради простоты первый тип шарлатанов я буду называть «выбегаллами», а второй — «эдельвейсами». Стругацких ведь все читали***?

Определиться с терминологией очень важно. Приведу пример. В 1998 г. по инициативе Виталия Гинзбурга в Российской академии наук была основана Комиссия по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований (часто именуемая просто Комиссией по лженауке). Это очень хорошо и правильно. Единственное, что мне не нравится, — название комиссии. Слово *лженаука* — калька с английского *pseudoscience* — безумно дискредитировано советской властью. Лженау-

* Мольер Ж.-Б. Тартюф, или Обманщик / Пер. МЛЛозинского. Действие пятое, явление VII.

** Русское слово *шантрапа* происходит от французского выражения *ne chantera pas — ne snoet*.

*** Речь идет о героях книг Аркадия и Бориса Стругацких — профессоре Амвросии Амбрузовиче Выбегалло из книг «Понедельник начинается в субботу» и «Сказка о Тройке» и изобретателе Эдельвейсе Захаровиче Машкине из «Сказки о Тройке».



«Фокусник». Картина Хиеронимуса Босха.

кой называли все неугодное партии, в том числе генетику, точнее «вейсманизм—менделизм—морганизм» (чудное название!). С тех пор, к сожалению, термин *лженаука* в русском языке отчетливо ассоциируется с лысенковщиной, а это играет на руку исключительно самим шарлатанам. Поэтому название Комиссии по лженауке, учитывая, что ее цель — действительно борьба с псевдонаукой, кажется мне неудачным. Было бы лучше именовать ее Комиссией по борьбе с шарлатанством или даже Комиссией по борьбе с обманом в науке.

«Выбегаллы»

Генрих Куршильдген. История Куршильдгена — одна из моих любимых на эту тему. Во-первых, потому, что небезынтересна сама по себе, а во-вторых, потому что можно провести совершенно прозрачные аналогии с сегодняшним днем. История часто в той или иной форме повторяет себя, и не всегда как фарс — этот случай не исключение.

В 1914 г. молодой Генрих* Куршильдген работал в Гильдене на фабрике красок. Там он, вероятно, надышался ртути, потому что через несколько лет начал утверждать, что совершил несколько великих научных открытий. В том числе нашел способ делать золото из подручных материалов. Нашлись люди, которые ему поверили; нашлись и те, кто дал ему деньги. Впервые его осудили за мошенничество в 1922 г. В тюрьму, однако, не посадили — судьи признали его душевнобольным. Куршильдгена пожурили, запретили использовать слово «золото» в разговоре с инвесторами и отпустили. Не знаю, был ли он действительно сумасшедшим, но вот что у него точно имелось, так это коммерческая жилка. Золото отошло на второй план — теперь Куршильдген утверждал, что умеет получать радий из оксида урана. Технологию он держал в строжайшем секрете. Про него написали в газетах, это заинтересовало ученых. Физико-технический институт в Берлине проверил его ут-

* Именно так традиционно передается по-русски немецкое имя Heinz.

верждения и признал их ложными. Куршильдген вернулся к золоту в 1929 г. Не сумев получить денег от президента П.фон Гинденбурга (Куршильдген предлагал наделать золота из песка и с его помощью выплатить репарации Первой мировой войны), он снова обратился к частным инвесторам, и снова успешно. Обманутые спонсоры подали в суд, и Куршильдгена все-таки посадили — на 18 месяцев.

Вторая половина истории еще более интересна. Выйдя из тюрьмы, Куршильдген привлек внимание пришедшей к власти нацистской партии утверждениями, что умеет делать бензин из простой воды. Если бы тогда существовало слово «нанотехнологии», оно было бы упомянуто многократно. Но и так получилось — ему удалось убедить Г.Гиммлера и прочих высокопоставленных нацистов в своей гениальности. Поверили, конечно, не все — Й.Геббельс, например, с самого начала называл Куршильдгена мошенником. После того как все тот же Физико-технический институт доказал, что Куршильдген врет, его арестовали. Тут бы ему и конец пришел, но нет. Арестовали его на три года, из-за примерного поведения он вышел через два, в 1938 г. Когда об этом услышал опозоренный Гиммлер, Куршильдгена арестовали повторно. Однако ему удалось убедить шефа гестапо в своей невинности, и этот потрясающий человек снова вышел на свободу.

Последним его финтом была попытка убедить силы союзников, что он — жертва нацистских репрессий. Куршильдген выдавал себя за ученого, чьи гениальные изобретения похитили злые нацисты. Не получилось, но попытка того, безусловно, стоила.

Ян Слут. В 1999 г. Ян Слут заявил, что может ужать любой фильм до восьми килобайт без потери качества, и умер от сердечного приступа за день до подписания контракта с представителем компании «Филипс». Правда! Это не очень смешно, скорее, довольно грустно, но это так. Ян Слут, специалист по ремонту телевизоров, якобы открыл уникальный алгоритм, способный ужимать информацию практически до нуля. В это трудно поверить — потому что это невозможно. Тем не менее нашелся человек, который поверил Слуту. Звали его Роэль Пирер, и был он профессором информатики и членом совета директоров компании «Филипс». После того как компания официально отказалась от услуг Слута, Пирер стал помогать ему в частном порядке и даже вложил в его



Профессор Амвросий Амбрузович Выбегалло. Иллюстрация Е.Т.Мигунова к повести братьев Стругацких «Понедельник начинается в субботу» (М., 1965).

дело чуть ли не миллион долларов. За день до подписания контракта, в котором Слут был обязан изложить все технические детали сжимающего алгоритма, у него стало плохо с сердцем, и он скончался. Компилятор его гениальной сжимающей программы так и не нашли, при этом Слут утверждал, что хранил его на обычной трехдюймовой дискете.

Оставим в стороне математические доказательства невозможности такого уровня сжатия информации. Ян Слут был обманщиком. Он вел себя как обманщик. Он прятал ото всех свое изобретение до подписания контракта. Он считал себя экспертом в сфере компьютерных технологий, хотя никогда им не учился. Он уходил от от-

вета на прямо поставленные вопросы. Все это довольно очевидные признаки обманщиков.

Дальнейшая судьба Пирера мне неизвестна, а жаль. Он не только потерял на этом деле кучу денег, но и полностью дискредитировал себя как специалист по компьютерным технологиям. Не удивлюсь, если его уволили.

Эрих фон Дэникен. Эрих Антон Пол фон Дэникен — один из самых известных и популярных уфологов. Он написал 26 книг, общий тираж которых превышает 60 млн экземпляров. Шестьдесят миллионов! Именно поэтому из всех уфологов (а их сотни!) я выбрал именно его. Итак, что в точности он постулирует?

Дэникен утверждает, что существует некая развитая внеземная цивилизация, которая несколько раз посещала Землю и оставила на ней свои следы. Например, Антикитерский механизм, Стоунхендж, статуи с острова Пасхи, карта Пири—Рэйса и т.д. — артефакты внеземного происхождения. Другим «подтверждением» теории Дэникена служит то, что во многих религиозных и священных текстах описано якобы приземление космического корабля, ярчайший пример — это откровения Иезекииля из Ветхого Завета. Также существует множество древних изображений, смутно напоминающих людей в скафандрах. Этого, считает Дэникен, достаточно, чтобы доказать внеземное присутствие на Земле.

Корректный человек назовет эти выводы далекоидущими, некорректный — нелепыми. Напомню только — Дэникен продал 60 млн экземпляров своих книг. Не Стивен Кинг, конечно, и не Джоан Роулинг (350 и 400 млн соответственно), но порядок тот же. И что самое интересное — Дэникен даже не скрывает, что он жулик.

Для начала, у него две судимости. Еще до своей писательской карьеры он отсидел в тюрьме за мошенничество, а после безумного успеха первой книги — за неуплату налогов и присвоение чужого имущества. Но это ладно — с кем, в конце концов, не бывает. Но в своем чудесном интервью «Плейбою» он практически признается во вранье и мошенничестве, а именно в «неточностях», которые были обнаружены в его книгах. Например, потрясающие археологические находки, скелеты инопланетян и их вещи — они, по его утверждению, безусловно, существуют, но имя обнаружившего их археолога и даты раскопок были в книге указаны неверно — поэтому, мол, настоящие археологи о них никогда и не слышали. И такого рода «объяснений» там много. Приведу несколько показательных цитат из его интервью (перевод мой. — К.Л.) с комментариями [1].

Это верно, я учитываю только те факты, которые мне нравятся, и отбрасываю остальные, но и любой теолог поступает так же. Все просто принимают только то, что подтверждает их теорию, а обо всем остальном говорят как о «недоразумении».

Возможно, теологи так делают. Ученым такого позволять себе нельзя.

Меня обвиняют в игнорировании научных фактов. Но ведь ученые верят в «научность» своих фактов, поскольку им об этом сказали другие ученые. А вот я, вооружившись своей теорией, пришел к выводу, что они ошибаются. <...> Если бы я вам дал список «научных фактов» пятидесятилетней давности, вы бы увидели, как мало из них до сих пор считаются правдой. Парни вроде Дарвина — я, конечно, не сравниваю себя с этим джентльменом, но во все времена существовали вот такие вот дарвины, которые боролись против целого мира так называемых «научных фактов». В этих фактах нужно сомневаться. Если вы не сомневаетесь, вы застряли.

Вот это — типичное поведение шарлатана. Утверждение «ученые верят в факты, потому что им об этом сказали другие ученые» вообще встречается у каждого второго. Как и сравнение себя с кем-нибудь знаменитым. Дарвин не шел «против так называемых фактов». Дарвин не был согласен с существовавшими теориями и предложил свою, которая объясняла факты куда лучше.

Ну и последняя цитата, завершающая интервью. По-моему, тут комментариев совсем не нужно.

П л е й б о й: Последний вопрос, по поводу нашей самой любимой из ваших теорий, изложенной в «Золоте богов», где вы предполагаете, что бананы были завезены на Землю из космоса. Вы серьезно?

Д э н и к е н: Нет, и не так много людей это понимают.

П л е й б о й: Но тогда возникает вопрос, не являются ли все ваши труды своеобразной шуткой. Правда ли, что вы, как вас назвал один писатель,

«лучший сатирик в немецкой литературе за последние сто лет»?

Д э н и к е н: Мой ответ — и да, и нет. В немецком есть замечательное слово: «jein». Это комбинация «ja» и «nein», да и нет. В каком-то плане — вовсе нет, я настаиваю, что абсолютно серьезен. В другом — я хочу, чтобы люди посмеялись.

П л е й б о й: Ну что же, у вас получилось и то и то.

Эрих фон Дэникен — обманщик, вор, плагиатор и безумно популярный писатель чуши. Ни один приведенный им факт не подтвердился, ни одно его предположение не выходит за рамки нелепости. Нашлось несколько десятков миллионов человек, купивших его книги. Он их пишет до сих пор, последняя датирована 2010 г. Если бы его теории были чуть-чуть менее идиотскими, если бы он говорил не о посещении Земли инопланетянами, а о чем-нибудь чуть более реалистичном — сколько бы миллионов человек ему поверило?

Геннадий Шипов и Анатолий Акимов.

Г.И.Шипов и А.Е.Акимов занимались торсионными полями. В 90-х годах прошлого века торсионные поля были на слуху, как сейчас нанотехнологии, но, в отличие от последних, — являются выдумкой от первой до последней формулы. Термин был придуман в 1922 г. математиком Эли Картаном, который, разумеется, никакого отношения к афере не имеет.

Все началось в середине 80-х. В СССР в закрытом режиме велись разработки нового оружия на основе торсионных технологий. Не знаю, кому принадлежала эта «светлая идея». Судя по докладу академика РАН Э.П.Круглякова, на эти исследования было выделено 500 млн руб. [2]. В 1989 г. исследования рассекретили и демилитаризовали — ни о каком оружии речь уже не шла. Исследования поначалу велись в так называемом Центре нетрадиционных технологий, а потом в частной фирме МНТЦ «Вент» под руководством Акимова. Эти собития повлекли за собой создание той самой Комиссии по лженауке в рамках РАН и последующее признание деятельности фирмы обманом и шарлатанством. Были предъявлены обвинения в фальсификации результатов и растрате бюджетных средств.

После распада Советского Союза группа была распущена, и Акимов открыл частное предприятие под названием «Международный институт теоретической и прикладной физики» при РАЕН, потом превратившийся в компанию ООО «ЮВИТОР». Сайт этой компании вполне можно посетить и сейчас. На его домашней странице красуется симпатичная летающая тарелка. И неслучайно. В газете «Чистый мир» в 1996 г. Акимов так и пишет: «В НПО «Энергия» вскоре должна быть испытана первая летающая тарелка».

Шипов пришел в торсионные поля с «более физической» стороны. Самая известная его рабо-

та — безграмотная книжка «Теория физического вакуума. Теории, эксперименты и технологии». Никакого отношения к физике она не имеет — разве что к научной фантастике, да и то плохо написанной. Шиповский «физический вакуум» далеко не нов и, по сути, это все тот же эфир, который грустно и безуспешно ищут сотни чудаков по всей планете. Критику книги Шипова и теории торсионных полей в целом можно легко найти (например, [3, 4]).

Торсионным полям приписывались разные чудодейственные воздействия, на деле нашлось только одно — даже разговоры о них имеют способность притягивать деньги. Из прочих заявленных свойств упомянем целительные способности, мгновенную связь на любые расстояния с ничтожными затратами энергии, изменение свойств материалов и прочий мир во всем мире. Рекомендую прочитать очень забавный протокол экспериментальной проверки одного из таких утверждений, его легко найти в интернете [3]. Текст недлинный и приятный для чтения — практически современная пьеса, прямо-таки Гарольд Пинтер плюс Карл Саган.

Показательны также биографии двух главных шарлатанов истории с торсионными полями. У Анатолия Акимова, несмотря на все утверждения, нет никакой ученой степени, и Высшая аттестационная комиссия России о нем не знает. Зато он действительный член РАЕН, т.е. везде имеет себя академиком. Геннадий Шипов закончил физический факультет МГУ, пошел в аспирантуру, но диссертацию не защитил. Напечатал пару статей в серьезных журналах, но потом с головой ушел в торсионные поля. Тоже действительный член РАЕН и еще пары псевдоакадемий рангом пониже.

Этого, в принципе, должно быть достаточно, чтобы все про них понять. Но я на всякий случай приведу некоторые цитаты Акимова с комментариями из бюллетеня «В защиту науки» Комиссии по борьбе с лженаукой [4]. Физики никакой не будет.

Акимов: На стадии становления программы активное участие приняли несколько известных ученых и одним из первых — директор Объединения ядерных исследований в Дубне академик Н.Н.Боголюбов.

Из письма академика Н. Н. Боголюбова Е.Б.Александрову: Сообщаю Вам, что к данным работам я не имею отношения, поскольку узнал от них из Вашего письма. Все ссылки на мое имя необоснованны.

Акимов: Как было показано академиком Л.Б.Окунем, спиновая волна (торсионная волна) в спиново-упорядоченной среде (Физическом Вакууме) будет распространяться так же, как гравитационная волна, т.е. торсионную волну нельзя будет экранировать.

Академик Л.Б.Окунь: Считаю своим долгом заявить, что ни в одной из моих работ (а я

написал ряд статей о теории вакуума) ни одного упоминания о торсионных полях не содержится.

Акимов: Многие наши изделия (торсионные генераторы) успешно прошли научную экспертизу именно в академических институтах, например в Институте физики АН Украины, в Институте проблем материаловедения, в Институте медицинских проблем Севера и других, о чем составлены соответствующие протоколы.

Директор Института физики НАНУ, академик М.С.Бродин: В Институте физики НАН Украины никогда не осуществлялась научная экспертиза работ в области торсионных полей.

Директор Института медицинских проблем Севера, профессор В.Т.Манчук: ...научных исследований по изучению влияния торсионных полей и технологий на организм человека в норме и при патологии не проводилось и не проводится.

Моя любимая цитата Анатолия Акимова следующая: Представить себе, что физические константы появились в ходе эволюции, невозможно. Следовательно, они созданы Богом. На том и закончим.

Виктор Петрик. О, Петрик. Самоименованный Леонардо наших дней. Должен признаться, я испытываю к нему некую странную, чуть извращенную форму уважения. Конечно, он никакой не Леонардо наших дней — он Калиостро наших дней. Он не разменивается по мелочам, он настоящий гигант среди шарлатанов — по масштабу, по наглости, по разнообразию методов. В арсенале у него можно увидеть и обман, и подкуп, и шантаж, и угрозы, и связи, и еще много чего. Если кому-нибудь понадобятся уроки мошенничества — пусть идет к Петрику. Надеюсь, к тому времени тот уже будет сидеть в тюрьме.

Сомневаться в абсолютной, незамутненной ложности всех претензий В.И.Петрика на науку не приходится. Иногда я даже думаю, что нет в мире ни одного человека, способного принять его слова на веру. (На самом деле есть — это-то и грустно.) В этом отчасти и состоит его величие — Петрик пошел другим путем. Он не позаботился о логичности или даже наличии науки, которую проповедует, о хоть какой-то разумности или продуктивности своих изобретений и патентов. Они абсолютно шизофреничны, но это ему не важно. Похоже, что он играет на другом — на связях, на откатах, на взятках. Кого нельзя купить, того можно запугать. Кто не боится Петрика, испугается его друзей из ФСБ. Петрик удивительным образом чувствует все дыры, лакуны и щели в российской околонуучной политике и незамедлительно протискивает в них свое жирное тело. И нисколько не робко, надо заметить. Большого ума человек! Если бы он хоть раз в жизни попытался сде-

лать что-нибудь конструктивное, вероятно, достиг бы больших успехов.

Я не хочу много писать о Петрике. Это имя сейчас у всех на слуху, и все более-менее о нем всё знают. Есть много подробных, хороших статей о различных его обманах. Андрей Гейм на эту тему остроумно заметил, что в России всегда любили юродивых. Вот и сейчас о Петрике много пишут — и правильно, наверное, делают. Но я бы, если честно, вместо хорошей, длинной статьи в «Википедии» после его имени и года рождения поставил бы только одно слово — *шарлатан*. Тем не менее приведу выборочные факты из его биографии, а так же несколько выдержек из расшифровки программы «Школа злословия» от 20 сентября 2010 г. с академиком Евгением Борисовичем Александровым, посвященной как раз Петрику. Программа очень интересная, советую посмотреть ее целиком.

Родился Петрик в 1946 г. По собственному утверждению, в 1975 г. окончил Ленинградский государственный университет по специальности «психология». То есть в 29 лет. Официальных данных о получении им каких-либо дипломов ЛГУ, впрочем, не имеется. Также известно, что он пытался получить диплом физфака ЛГУ, но неудачно. Был гипнотизером. Работал в Научно-исследовательском психоневрологическом институте им. В.М. Бехтерева. В 1984 г. был осужден на одиннадцать лет за экономические преступления — мошенничество, покушение на грабеж, вымогательство, понуждение к даче ложных показаний и др. Освобожден досрочно, в 1989 г. Стал работать художником, потом начал выращивать искусственные драгоценные камни. Потом прославился своим заявлением, что может получать редкий изотоп осмия в домашних условиях. В связи с этим был арестован, но потом отпущен. В 1990-х работал советником по экономическим вопросам Санкт-Петербургской мэрии. Улавливаете иронию? Обзавелся друзьями, деньгами, домиком под Петербургом и с головой ушел сначала в бизнес, а потом в науку. Действительный член, как водится, РАЕН. Много с кем судился — в том числе с Госзнаком России: пытался, представьте себе на секундочку, отсудить 1% от всей денежной массы России за использование запатентованной им технологии «люминофор» — метки на банкнотах с помощью того же осмия. Я же говорю, на мелочи не разменивается. Суд ему, конечно, отказал — изобретение было запатентовано членом-корреспондентом АН СССР П.П. Феофиловым еще в 1966 г.

В данный момент Петрик — владелец ООО «Золотая формула». Но от написанного на сайте этой фирмы отрешивается — это, мол, не он пишет, это журналисты-энтузиасты, и за сделанные ими ошибки и ляпы сам Петрик ответственности не несет. Очень ловко! Однако на том же сайте есть видео, где академик Петрик вещает лично. От этого отказаться сложнее. О некоторых других мето-

дах Петрика рассказал Е.Б. Александров в «Школе злословия». Извините, что приходится цитировать длинно — зато интересно.

Е. Б. А л е к с а н д р о в: *Я участвовал в этой самой комиссии В.А.Тартаковского, которая разби- рала 11 инновационных открытий Петрика. Как-то позвонил Б.В.Грызлов Ю.С.Осипову и велел, чтобы выслушали академики Петрика. И Грызлов привез Петрика в ИОНХ — Институт общей и неорганической химии РАН, там собрали штук двадцать академиков, и перед ними выступил [Петрик] со своими инновационными открытия- ми — так он говорил, — в области нанотехноло- гий. И был заготовлен уже протокол, по которо- му Академия наук обязуется «сопроводить на- укой» открытия Петрика.*

Т. Н. Т о л с т а я: *А!?*

Е. Б. А л е к с а н д р о в: *После чего бригада из че- тырех академиков и одного члена-корреспонден- та поехала в лабораторию Петрика во Всево- ложск под Петербургом, смотреть это все. После чего Петрик их всех поставил перед камерой, и под подсказки ведущих они должны были гово- рить, что они думают о Петрике. И они говори- ли, что это, ну такой гений, что таких просто не бывает.*

Т. Н. Т о л с т а я: *Как эти люди могли?.. Там пис- толет, что ли, был?*

Е. Б. А л е к с а н д р о в: *Нет. Я после этого... Пах- ло очень большими деньгами.*

Т. Н. Т о л с т а я: *А честно?*

Е. Б. А л е к с а н д р о в: *Это... it's a good question, как говорят американцы. <...>*

А. А. С м и р н о в а: *Погодите. А вот эти осталь- ные. Это четыре, которые поехали с ним во Всево- ложск. А остальные шестнадцать не поехали?*

Е. Б. А л е к с а н д р о в: *Не поехали. Они оста- лись в стороне.*

А. А. С м и р н о в а: *А протокол вот этот вот?*

Е. Б. А л е к с а н д р о в: *А протокол как-то ока- зался неподписанным. Ну, он лежит в Интерне- те, все можно посмотреть, кто там был. Все это прекрасно известно. <...> Но, тем не менее, все- таки вопрос об этом поднялся. Вот под предсе- дательством академика-секретаря В.А.Тарта- ковского собирается комиссия, которая будет разбираться с делами Петрика. Мы первый раз собрались и оказались в ужасном положении, по- тому что не с чем разбираться — у него нет пуб- ликаций. У него нет публикаций, у него только какие-то слепые патенты в большом количест- ве. Большая часть из них просрочена, не заплаче- но за них. Все патенты у нас сейчас даются не как свидетельство того, что это будет рабо- тать, а как свидетельство того, что вот тако- го никто, например, не говорил до сих пор, и за- плачены все деньги. Поэтому патентуется все что угодно. Ну и вот, у него масса патентов, из которых многие были вполне разумные, пото- му что они составлялись со специалистами, куп-*

ленными в учреждениях ВПК*, например в том же самом филиале ГОИ**. У них было два сотрудника, которых он перекупил, и со своими патентами, потом они были переписаны. Потом, когда разбирались с этими патентами, было не очень понятно, кто автор патента, а кто патентопробретатель. Ну, в общем, это такой бизнес на патентах.

Петрик с академиком Александровым пытался дружить. Водил его к себе в лабораторию, потом в ресторан, предлагал работу. Евгений Борисович вежливо отказался — в ход пошли другие методы.

Е. Б. Александров: Сначала я получил вдруг письмо от непонятного человека за подписью некоего Кравцов, где было написано, что вот наше национальное достояние — это Петрик, это вот наша вот главная мощь страны. А вы под него копаете. Более того, вы сговорились с отщепенцем за границей с тем, чтобы он опозорил его за границей. А поскольку его поддерживают первые люди страны, то вы на самом деле собираетесь подкопать под первых людей власти. И «берегитесь», — писал он. — Берегитесь. Всем известно ваше нелояльное отношение к властям. Но это дело другое. А сейчас вы собираетесь сделать что-то совершенно запредельное. И берегитесь, пока об этом не узнал Петрик, потому что гнев его будет ужасен». Я тут же... К этому времени я уже имел некую консультацию с ФСБ, из Службы защиты Академии наук, которая сказала: «Не входите с ним ни в какой контакт вообще, не разговаривайте, прерывайте все разговоры». Мне вот он звонит, а я сразу говорю: «Не хочу больше разговаривать». Тогда он мне наговорил на автоответчик. На автоответчик он мне наговорил буквально содержание этого письма и сказал: «Мы вас предупреждали, вы влезли на такие высоты, что вы со своим слабеньким умом понять не можете. Вы пытаетесь обвинить высших людей государства во взяточках, коррупции. Мне плевать, что будет с вами». У меня это записано все. «Мне плевать, что будет с вами, но вы должны подумать, что будет с Академией наук». Кончилось, значит, это тем, что в конце концов он мне позвонил и сказал, что я зря обращался в ФСБ, что там должны были сказать мне, что я имею дело с чрезвычайно опасным человеком,

и он имеет по крайней мере 20 способов умерщвления людей без оставления следов, а кроме того, он владеет нанотехнологиями, которые позволяют ему индуцировать рак. Тут я бросил трубку.

Последняя, самая громкая и крупная афера Петрика — это фильтры по очистке воды. И действительно, деньги, которые можно заработать на осмии-187, ни в какое сравнение не входят с деньгами, которые можно сделать на чистой воде. Здесь Петрику помогали его «друзья» — Б.В.Грызлов и С.В.Кириенко. Количество денег, которые можно было «распилить», превышало все разумные пределы. Но люди все-таки вмешались и, кажется, остановили это.

Е. Б. Александров: Они [фильтры Петрика] ничем особенно не блистают. Единственно — тем, что эти фильтры много-много дороже, чем все остальные. Но они имеют логотип, там «Единая Россия», там «С.К.Шойгу». Теперь они уже передрались на самом деле внутри себя в свое время. Петрик поставлял только вот эту смесь, фильтры делал другой человек, такой Кудряшов. А потом они с ним разошлись, потому что Кудряшову не нравилась там смесь, которую ему дают. Она — то одного качества, то другого.

Т.Н.Толстая: «Волки от испуга скушали друг друга».

Е. Б. Александров: И он взял свой патент, и теперь делает свои фильтры, и жалуется на то, что Петрик обещает убить его и его детей, ссылаясь на свои связи с очень такими, как это, авторитетными людьми. <...>

А.А.Смирнова: Это просто... Послушайте. Я просто, вот мы двоих знаем. Дорогой Сергей Владилевиченчик...

Т.Н.Толстая: Не позорьтесь уж совсем.

А. А. Смирнова: Дорогой Сергей Кужугетович. Ребята, мальчишки, куда вы пошли?! Вы что?! Вы вообще понимаете, что это?.. Вы поговорите все-таки с учеными. Не надо, правда. Парни, ну стыдно же.

Стыдно, парни, стыдно. Единственное, что меня хоть как-то утешает в этой истории — кажется, Петрика потихоньку уняли. Он, конечно, все еще активен, но уже мало где о нем пишется всерьез. Пресса, во многом благодаря академикам Александрову и Круглякову и Клубу научных журналистов, все-таки «встала на путь истинный». И хочется верить, что через пару лет Виктор Петрик стучуется окончательно. ■

* Военно-промышленного комплекса.

** ГОИ — Научно-производственная корпорация «Государственный оптический институт им.С.И.Вавилова» в Санкт-Петербурге.

Литература

1. Playboy. 1974. August. P.51—65.
2. Кругляков Э.Л. Лженаука. Чем она угрожает науке и обществу? (Доклад на Президиуме РАН 27.05.2003) // <http://humanism.su/ru/articles.phtml?num=000139>.
3. Бялко А.В. Торсионные мифы // Природа. 1998. №9. С.3—7.
4. Кругляков Э.Л. Штрихи к портрету «академика» Акимова // В защиту науки. 2008. Бюллетень 3. С.77—82.

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2012 ГОДА

По физике — С.Арош и Д.Вайнленд

Незадолго до очередного присуждения Нобелевских премий физический мир был возбужден экспериментальным обнаружением бозона Хиггса — частицы, необходимой для полноты Стандартной модели и объясняющей происхождение масс элементарных частиц (см. в этом номере статью М.И.Высоцкого). В тот момент многим казалось, что выбор кандидата на Нобелевскую премию 2012 года очевиден. Но английский физик-теоретик Питер Хиггс (P.Higgs) так и остается пока только кандидатом — Нобелевский комитет не отошел от консервативной позиции присуждать премию за открытия, надежно устоявшиеся в общественном мнении.

Все любят симметрию. Физики любят особенно, предпочитая слегка нарушенную симметрию, которую используют для построения красивых теорий, например спонтанного нарушения электрослабой симметрии (Хиггс). Нобелевский комитет по физике дал пример новой симметрии, присудив премию за два открытия, взаимно дополняющих друг друга. В одной из работ атомы, захваченные в ловушку, диагностировались излучением, в другой — состояние поля в резонансной полости (это ловушка для фотонов) анализировалось с помощью возбужденных атомов. И саму премию разделили пополам, в отличие от многих предыдущих лет, когда она присуждалась в долях 0.5, 0.25, 0.25.

Итак, Нобелевскую премию по физике получают Серж Арош



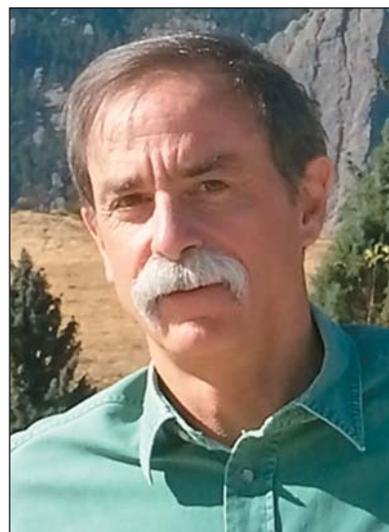
Серж Арош.

(S.Haroche) и Давид Вайнленд (D.Wineland).

С.Арош, гражданин Франции, родился в 1944 г. в Касабланке (Марокко). Учился в Высшей нормальной школе (Париж), диссертацию защитил в 1971 г. в Университете имени Пьера и Марии Кюри (Париж). После нескольких лет работы в США, в Стэнфордском университете, вернулся во Францию и сейчас заведует кафедрой квантовой физики в Коллеж де Франс.

Д.Вайнленд родился в 1944 г. в г. Милуоки (США). Ученую степень получил в Гарвардском университете (Кембридж, США). Возглавляет группу в Национальном институте стандартов и Университете штата Колорадо.

Премия присуждена «за выдающиеся экспериментальные методы, дающие возможность



Давид Вайнленд.

определения состояний индивидуальных квантовых систем и манипуляций с ними». Впрочем, здесь слово «выдающиеся» страдает неточностью перевода: в оригинале нобелевской формулировки сказано «*ground-breaking*», т.е. эти открытия рассматриваются так, как если бы они подрывали основы квантовой механики. Некоторые преувеличения вполне естественны для убеждения общественности в уникальности научных достижений. Поэтому в процессе описания экспериментов, отмеченных премией, мы попробуем разобраться, действительно ли в результате новых открытий квантовая механика поставлена перед необходимостью пересматривать свои постулаты.

Основное достижение нобелевских лауреатов можно сфор-

мулировать так: разработка невозмущающих методов квантово-механических измерений. Квантовая механика — наука с логикой, которая с трудом поддается наглядному объяснению. Важную часть этой логики составляет принцип неопределенности, который предложил Вернер фон Гейзенберг в 1927 г. Суть его в том, что измерения с абсолютной точностью параметров квантовых объектов невозможны. Неравенство, называемое соотношением неопределенности, устанавливает предел точности одновременного определения пары характеризующих квантовую систему физических величин. Если одну из этих сопряженных переменных мы можем найти с высокой точностью, то информацию о другой, дополнительной к ней, вынуждены узнать с гораздо большей погрешностью. Такими взаимно дополнительными переменными могут быть координата частицы и ее импульс (произведение скорости на массу), энергия частицы и момент времени, в который эта энергия нам известна, фаза электромагнитного поля и число фотонов в нем.

Однако соотношение неопределенностей имеет еще одну сторону, усложняющую его понимание. Она относится к взаимодействию измеряемого объекта и прибора, производящего измерения. На начальных стадиях развития квантовой механики считалось, что неопределенности возникают по той причине, что в процессе измерений прибор искажает поведение квантовой частицы и вносит те самые возмущения, которые заданы соотношением неопределенностей. Затем последовал более детальный анализ того, как распределяются ошибки между прибором и измеряемым объектом [1, 2]. Оказалось, что вопрос этот совсем не прост, и в принципе подбором параметров прибора можно существенно снизить неопределенность результатов опыта. Итогом подобных рассуждений и стали эксперименты,

отмеченные Нобелевской премией. В них измеряющие устройства активны: они не просто позволяют установить свойства квантового объекта, но одновременно и поддерживают его в нужном состоянии: так, чтобы его параметры не менялись при измерениях. В обеих нобелевских работах выполнялись неразрушающие измерения, при которых внутренние квантовые состояния объекта соединялись в единую систему с внешними, тоже квантовыми, состояниями прибора. Данную заметку можно было бы озаглавить так: «Соотношение неопределенностей, но определенность отношений» — игра слов отчасти приобретает здесь реальный смысл.

Основа эксперимента Вайнленда — ионная ловушка. Это сложное устройство позволяет зафиксировать один или несколько ионов в вакууме при низкой температуре, используя комбинацию статических и высокочастотных электрических полей. Ион имеет два сверхтонких электронных состояния 1 и 2 с частотой перехода между ними $\omega_0 \sim 1$ ГГц, в каждом из которых он может совершать гармонические колебания с частотой $\omega_v \sim 10$ МГц $\ll \omega_0$ вблизи минимума его потенциальной энергии в ловушке. Спектр поглощения такой системы включает основную линию на частоте ω_0 и более слабые однофотонные спутники на частотах $\omega_0 \pm \omega_v$, поскольку есть взаимодействие внутренних (электронных) и внешних (колебательных) степеней свободы.

Важным шагом в управлении квантовым состоянием иона была техника охлаждения иона к основной энергии ловушки. Рис.1 показывает несколько колебательных уровней иона в ловушке для двух различных электронных состояний. Метод охлаждения состоит в следующем: ион возбуждается лазером с узкой полосой генерации на частоте $\omega_0 - \omega_v$, возбужденный ион спонтанно излучает на частоте ω_0 и возвращается предпо-

читительно к состоянию с тем же самым колебательным квантовым числом v . Этот процесс уменьшает энергию иона, и тот постепенно «спускается» к основному состоянию с $v = 0$ (остывает).

Пойманные в ловушке ионы образуют линейную цепочку, расстояния между ними определяются балансом внешних сил и взаимного кулоновского отталкивания. Систему можно представить как квазимолекулу, и за состоянием каждого иона можно следить по отдельности, наблюдая его флуоресценцию при селективном лазерном возбуждении. А именно, подбирая частоту и поляризацию возбуждающего света, можно переводить ион в возбужденное состояние только из одного из двух исходных состояний, например из состояния 1. После возбуждения ион спонтанно излучает, возвращаясь в то же состояние 1. Регистрация излучения (рис.2) позволяет утверждать, что ион находился именно в этом состоянии. Изменяя параметры возбуждающего света, можно также

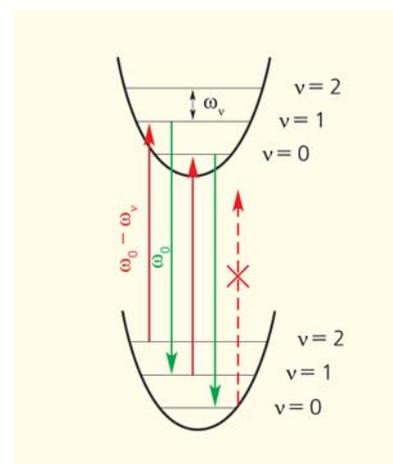


Рис.1. Схема охлаждения иона — перехода в основное состояние. Красные стрелки — возбуждение иона лазерным излучением, зеленые — спонтанное возвращение иона в более низкое собственное состояние иона, но с тем же колебательным уровнем ловушки (отвечающим квантовому числу v). Возбуждение иона из основного состояния уже не происходит.

определить, находится ли ион в состоянии 2. Этот метод, разработанный Вайнлендом и его сотрудниками, позволяет контролировать как внутренние, так и внешние степени свободы каждого иона в ловушке. Он и использовался ими для неразрушающих измерений.

Тонкие опыты Вайнленда не только продемонстрировали мощь современных квантово-механических измерений, они нашли и свое практическое применение. Разрабатывается способ построения квантового компьютера с пойманными в ловушку ионами. Квантовые биты (кубиты) закодированы в сверхтонких и колебательных состояниях ионов, которые очень слабо взаимодействуют с окружающей средой и потому имеют долгие времена жизни. Вайнленд и его группа были первыми, кто выполнил экспериментально двухкубитную операцию [4]. Сегодня самая продвинутая квантовая компьютерная технология также основана на пойманных в ловушку ионах, продемонстрированы вычисления уже с 14 кубитами [3]. Однако создание больших устройств, способных к выполнению вычислений, которые значительно превосходят возможности классических компьютеров, еще впереди.

Отличительная особенность квантовых компьютеров — в их

способности хранить суперпозиции чисел и манипулировать ими. Этот потенциал параллельных вычислений позволяет предвосхитить, что некоторые задачи будут решаться на квантовых компьютерах более эффективно, чем на классических. В частности, доказано, что квантовый компьютер сможет гораздо быстрее раскладывать большие числа на множители. Это будет иметь важное значение для безопасности кодирования информации, поскольку многие схемы кодирования как раз основаны на неспособности классических компьютеров достаточно эффективно выполнять эту операцию [4].

Еще одно важное применение исследований Вайнленда с пойманными в ловушку ионами — высокоточные часы. Часы, основанные на переходе в оптической области, могут достигать большей точности, потому что частота перехода, который находится в видимом или ультрафиолетовом диапазоне, на несколько порядков величины выше, чем у цезиевых часов, работающих в микроволновом диапазоне. Оптические часы, которые создал Вайнленд с сотрудниками на основе иона $^{199}\text{Hg}^+$ [5], в настоящее время достигают точности 10^{-17} , что на два порядка лучше, чем существующий стандарт частоты.

Основа экспериментального прибора, который использовался Арошем и его сотрудниками, — микроволновая полость [6]. Она состоит из двух сферических зеркал, отделенных расстоянием 2.7 см, которые сделаны из ниобия и охлаждены до температуры 0.8 К, достаточно низкой для поддержания его в сверхпроводящем состоянии (рис.3). Улучшение качества зеркал дало возможность создать в начале прошлого десятилетия полости с чрезвычайно высокими добротностями ($Q = 4 \cdot 10^{10}$). В такой полости фотон живет 0.13 с и прежде, чем поглотится, проходит путь в 40 тыс. км. Если продолжить сравнение нобелевских экспериментов, то полость и есть аналог ловушки: в экспериментах Вайнленда световые пучки используются для определения состояний атомов в ловушке, а в экспериментах Ароша, наоборот, пучки атомов используются для определения состояния поля в полости.

Фотоны, произведенные поодиночке (или попарно) источником микроволнового излучения, попадают в полость через волновод. Квантовое состояние поля, а проще говоря число фотонов N в полости, определяется с помощью возбужденных атомов рубидия. Рубидий — элемент первой группы, у него один валентный электрон. Возбуждение этого электрона в высокое квантовое состояние с главным квантовым числом $n = 50$ или 51 (обозначим их «f» и «e») переводит его на круговую орбиту большого (по сравнению с невозбужденным атомом) радиуса. Такие атомы называются ридберговскими, они представляют собой диски с радиусом около 125 нм. Частота перехода атомов рубидия из верхнего состояния «e» в некоторое еще более высокое состояние «i» почти совпадает с микроволновой частотой полости (51 ГГц), поэтому атомы в состоянии «e» сильно взаимодействуют с полем. Важно, что точного резонанса нет, т.е. фотоны не поглощаются и не излу-

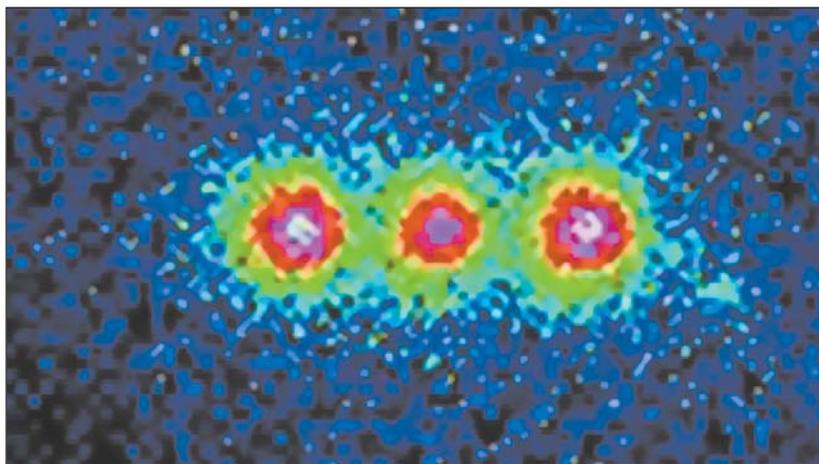


Рис.2. Флуоресценция трех ионов бериллия, захваченных в ловушке в экспериментах Вайнленда.

ются, так что это взаимодействие не изменяет их число N . Таким методом можно измерять как большие, так и малые числа фотонов вплоть до $N = 1$.

Чтобы создать и проанализировать квантовую суперпозицию атомных состояний «f» и «e», используются полости на входе и выходе, в которых лазерное излучение переводит атомы рубидия из «f» в «e» и обратно. Датчик ионизации на выходе определяет состояние атома. Атомы посылаются в полость по одному со скоростью, варьируя тем самым время взаимодействия с полем микроволновой полости. Атом, движущийся в полости, не поглощает фотоны, но фаза его верхнего состояния «e» изменяется из-за динамического эффекта Штарка, вызывающего изменение фазы волновой функции, тогда как фаза нижнего состояния «f» меняется незначительно из-за большой отстройки от резонанса. Сдвиг фазы приводит к изменению сигнала на выходе. Так как сдвиг пропорционален числу фотонов в полости, метод позволяет определить N , не изменяя само N . Таким образом, отсутствие резонанса обеспечивает то, что квантово-механические измерения становятся невозможными.

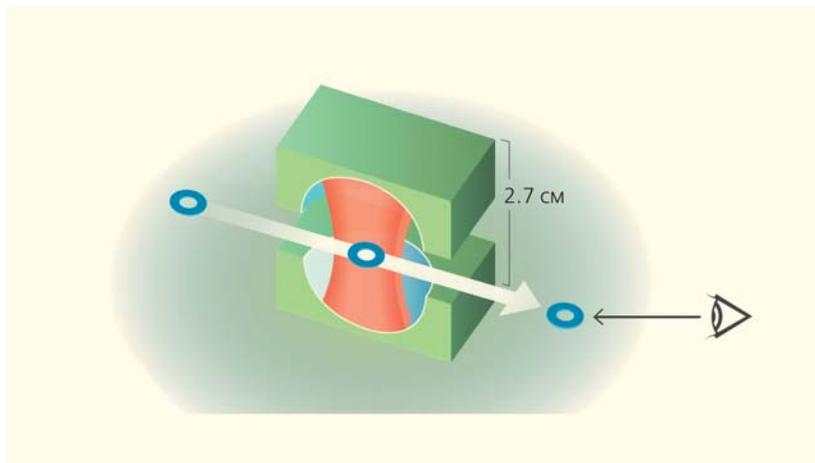


Рис.3. Принципиальная схема экспериментов Ароша. Микроволновая полость состоит из двух сферических зеркал, выполненных из сверхпроводящего ниобия (изображен зеленым). В ней достаточно долго существуют фотоны, отражающиеся от сферических стенок полости (изображены красным). Возбужденные атомы рубидия (синие диски) меняют свое состояние, проходя полость, но не поглощая при этом фотоны, за счет динамического эффекта Штарка.

Если начальное состояние поля не является фоковским, т.е. характеризуется не определенным N , как выше, а определенной фазой — переменной, дополнительной к N , — то согласно принципу неопределенности имеется распределение значений N с вероятностью $P(N)$. При пролете атома через полость фаза поля меняется так, что распределение $P(N)$ сужается, и при увеличении числа пролетающих атомов оно быстро коллапсиру-

ет в одиночную линию. Так, в работе [6] показано, как начальное когерентное состояние поля со средним значением фотонов, равным 10, эволюционирует при пролете 3, 5 и 20 атомов. Конечное распределение имеет вид $P(N) = 1$ при $N = 13$ и $P(N) = 0$ при $N \neq 13$.

Так подрывают ли эксперименты нобелевских лауреатов основы квантовой механики? Ответ, полагаем, очевиден: они их утверждают с новой силой. ■

© А.В.Бялко,

доктор физико-математических наук
Институт теоретической физики им.Л.Д.Ландау РАН
Москва

© Э.С.Медведев,

доктор физико-математических наук
Институт проблем химической физики
Черноголовка

Литература

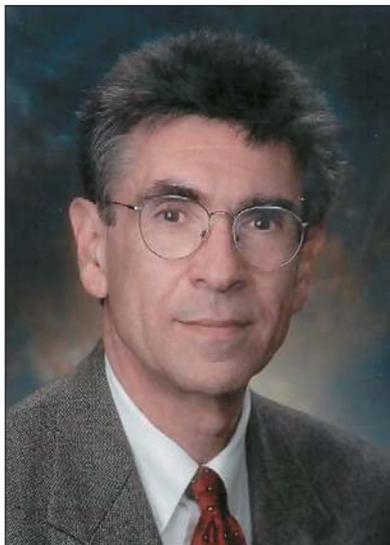
1. Брагинский В.Б., Воронцов Ю.И. Квантово-механические ограничения в макроскопических экспериментах и современная экспериментальная техника // УФН. 1974. Т.114. №1. С.41—53.
2. Воронцов Ю.И. Соотношение неопределенности и соотношение ошибка измерения — возмущение // УФН. 2005. Т.175. №10. С.2—16.
3. Monroe C. et al., Wineland D.J. Manipulating the motion of a single trapped // Phys. Rev. Lett. 1995. V.75. P.4714.
4. Blatt R., Wineland D. Entangled states of trapped atomic ions // Nature. 2008. V.453. P.1008.
5. Diddams S.A. et al., Wineland D.J. An optical clock based on a single trapped $^{199}\text{Hg}^+$ ion // Science. 2001. V.293. P.825.
6. Brune M., Haroche S., Lefevre V. et al. Quantum nondemolition measurement of small photon numbers by Rydberg-atom phase-sensitive detection // Phys. Rev. Lett. 1990. V.65. P.976.

По химии — Р.Лефковиц и Б.Кобилка

Нобелевская премия 2012 г. по химии присуждена американским ученым Роберту Лефковицу (Robert Lefkowitz) и Браену Кобилке (Brian Kobilka) «за исследование рецепторов, сопряженных с G-белками (G-protein-coupled receptors, GPCR)». У Нобелевского комитета, на мой взгляд, было не меньше оснований присудить этим исследователям премию в области физиологии и медицины, поскольку по сути их работы помогают ответить на вопрос, как клетки чувствуют и отвечают на внешние стимулы. Так почему же за исследование GPC-рецепторов и почему по химии?

Концепция рецепторов, возникшая в поисках возможных путей доставки информации в клетку, — несомненно, одна из ключевых идей в современной физиологии и фармакологии. Пионерные работы, заложившие ее основу, были выполнены в конце XIX в. и ассоциируются с двумя значимыми для науки именами. Видный английский физиолог Дж.Лэнгли, изучая влияние пилокарпина и атропина на мышечное сокращение, выяснил, что не все части мышцы одинаково чувствительны к ним. Это привело Лэнгли к мысли о наличии на поверхности клетки специфической и локальной мишени для действия веществ, он назвал ее рецепторной частицей.

К сходным выводам пришел выдающийся немецкий бактериолог и иммунолог П.Эрлих (Нобелевская премия по физиологии или медицине 1908 г.) на основе своих экспериментов по окрашиванию клеток. Он разработал новые красители со специфическим сродством к определенным клеткам, полагая, что вещества взаимодействуют с определенными структурами клетки, подчиняясь принципам химических реакций. Затем, в ходе



Роберт Лефковиц.

работ над иммунологическими проблемами, Эрлих предположил, что на поверхности иммунных клеток имеются «боковые цепи», связывающие бактериальные токсины. Поскольку такие цепи не способны выполнять свои функции, клетка усиливает продукцию «боковых цепей», секретировав их в плазму крови. Эти «боковые цепи» должны действовать, по Эрлиху, как антитоксины. В целом идеи Эрлиха — это потрясающее предвидение существования защитной субстанции, известной сейчас как антитела. В 1900 г. Эрлих ввел термин «рецептор», как обобщенное описание функции «боковых цепей», а позднее, сославшись на «рецепторную частицу», Лэнгли придал ему значение, близкое к современному.

В 20-х годах видный английский фармаколог А.Кларк, количественно описав эффекты ацетилхолина и атропина на сократительную активность мышцы лягушки, превратил концепцию рецепторов в настоящую теорию. Получив аналитичес-



Браен Кобилка.

кий аппарат, она позволила объяснить различия в действии химических препаратов на биологические органы и ткани, оказав тем самым огромное влияние на развитие фармакологии XX в.

Вплоть до начала молекулярной эры в биологии «рецептор» представлялся небольшой дискретной областью на клеточной мембране или внутри клетки, с которой взаимодействуют биологически активные молекулы — нейротрансмиттеры, гормоны, яды и другие лиганды. Структурная организация этой области вызвала многочисленные дискуссии. По иронии судьбы, видный фармаколог своего времени американец Р.Алквист, предположивший существование двух типов адренорецепторов (α и β), реализующих эффекты катехоламинов, писал: «Это было бы самодеяньностью с моей стороны считать, что α - и β -рецепторы действительно существуют. Хотя некоторые именно так и думают и даже описывают их детальную структуру, для меня — это абст-

рактная концепция, предложенная для объяснения реакции тканей на вещества различной химической природы» [1]. Выдающийся американский биохимик Э.Сазерленд (Нобелевская премия по физиологии или медицине 1971 г.), открывший вторичный медиатор цАМФ и синтезирующий его фермент аденилатциклазу, разделял мысль о существовании рецепторов, но и он сомневался в необходимости специализированных молекулярных структур: «Кажется весьма вероятным, что в большинстве, возможно, во всех тканях, β -рецепторы и аденилатциклаза — это одно и то же» [2].

В 1960—1970-х годах биохимики и фармакологи уже получили основные факты о механизмах действия гормонов, агонистов и антагонистов. Э.Кребс (Нобелевская премия по физиологии или медицине 1992 г.) идентифицировал цАМФ-зависимую протеинкиназу — непосредственную внутриклеточную мишень действия цАМФ. В 1971 г. М.Родбелли предположил наличие ГТФ-связывающего регуляторного белка (G-белка), который сопрягает рецепторы гормонов и аденилатциклазу. Вскоре в лаборатории А.Гилмана такой белок выделили и очистили (за эти исследования в 1994 г. М.Родбелли и А.Гилман удостоились Нобелевской премии по физиологии или медицине). Сомнений в существовании рецепторов гормонов и других первичных медиаторов более не оставалось, и встала задача выделить и очистить рецепторы для биохимических и структурных исследований. Пришло время Р.Лefkoviца и Б.Кобилки.

Роберт Лefkoviц родился 15 апреля 1943 г. в Нью Йорке. Он получил медицинское образование в Колумбийском университете (Нью Йорк), а в конце 1960-х стажировался в области кардиологии в Гарварде, т.е. был хорошо знаком с адренергической системой, контролирующей сократимость сердца. К тому

времени у биохимиков уже имелись более или менее ясные представления об организации аденилатциклазной системы, а именно с ней сопряжены β -адренорецепторы, и уже была получена дюжина их синтетических агонистов и антагонистов различной химической природы. Как писал позднее Лefkoviц, именно эти обстоятельства подтолкнули его к попытке идентифицировать β -адренорецепторы, используя радиолигандный метод и высокоафинную хроматографию.

В тот момент уже были выделены и реконструированы два типа мембранных белков — никотиновый рецептор* и фотопигмент родопсин. Этому способствовала сама Природа, предоставившая биохимикам электрический орган ската *Torpedo marmorata*, где никотинового рецептора чрезвычайно много, и фоторецепторные клетки сетчатки, в которых родопсин составляет порядка 90% всех белков (эти белки почти не нуждались в очистке). Иное дело адренорецепторы — как позже оценил Лefkoviц, для их выделения требовалась очистка порядка 10^5 . Успеха удалось достичь с помощью хроматографических колонок с ковалентно пришитыми лигандами адренорецепторов — вначале выделили β_2 -, а затем и α_2A - и α_1B -адренорецепторы.

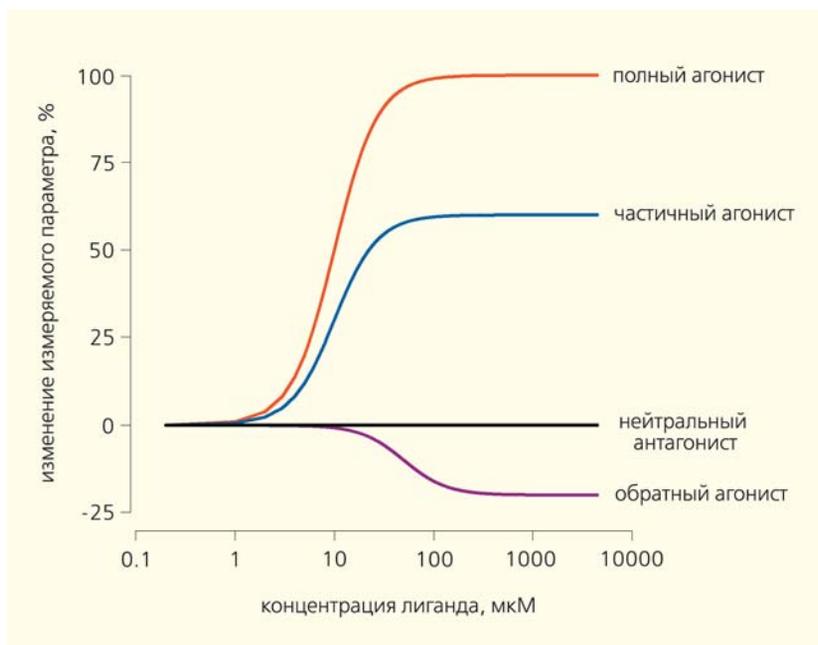
Предполагаемый β_2 -адренорецептор оказался одиночным полипептидом молекулярной массой ~60 кДа. Его введение в липосомы индуцировало специфическое связывание радиомеченных агонистов с кажущимися константами диссоциации в наномолярной области концентраций. Из этого важного результата вытекало, что время жизни комплекса достаточно велико, и поэтому предполагаемый «рецептор» удалось выде-

* Подробнее см.: *Цетлин В.И., Кашеваров И.Е.* Никотин и его рецепторы — о вредном и полезном // Природа. 2012. №4. С.23—30.

лить биохимически. Последние сомнения развеялись, когда реконструировали более полную систему (β_2 -адренорецептор, G-белок и аденилатциклаза), в которой агонисты β_2 -адренорецепторов стимулировали продукцию цАМФ, а антагонисты ее блокировали. Так было доказано, что выделенный полипептид — истинный β_2 -адренорецептор.

Современному естествоиспытателю, пресыщенному успехами молекулярной биологии, геной инженерии, структурной биологии и биоинформатики, может показаться, что результаты Лefkoviца и его коллег тривиальны и их не следовало бы обсуждать в таких подробностях. Но, во-первых, это результаты первопроходцев, а стоя на плечах гигантов, по образному выражению сэра Исаака Ньютона, всегда видно дальше. Во-вторых, их «простые» эксперименты в сочетании с основным инструментарием ученого — хорошей головой — породили несколько фундаментальных идей, оказавшихся весьма плодотворными для ряда новых областей, например, для направленного создания лекарств.

Эксперименты по взаимодействию радиолигандов с рецепторами показали, что для антагонистов оно сильнее, чем для агонистов. Из этого следует, что для стимуляции сигнальных процессов в клетке связывание лиганда с рецептором — необходимое, но недостаточное событие, оно не сводится к извлечению энергии для активации рецептора. Сейчас мы ясно понимаем, что взаимодействие лиганда и рецептора характеризуется прочностью связывания и эффективностью, с которой комплекс лиганд—рецептор может активировать внутриклеточные процессы. Концепция «эффективность», в основе которой лежит множество фактов, позволяет объяснить, почему лиганды ведут себя как полные, частичные или обратные агонисты и антагонисты. Развитию представле-



Феноменология действия лигандов рецепторов на клетку. Связываясь с одним и тем же рецептором на поверхности клеточной мембраны, различные лиганды могут вызывать ответы, характеризующиеся различными кривыми доза—ответ. Под клеточным ответом понимается изменение какого-либо измеряемого параметра, например внутриклеточной концентрации цАМФ, инициируемое аппликацией лиганда. Полный агонист вызывает максимальный ответ, у частичного агониста при насыщающих концентрациях ответ меньше по сравнению с ним, а нейтральный антагонист сам по себе не вызывает клеточных ответов, но ингибирует ответы на агонисты. Рецептор может обладать заметной активностью в покое. Поэтому некоторые лиганды, ингибируя спонтанную активность рецептора, могут вызывать ответ, обратный по знаку ответу на агонист.

ний об обратном агонизме мы в значительной степени обязаны мутантным адренорецепторам, активным в отсутствие лигандов. Такие мутанты были получены и исследованы в лаборатории Лефковица. Есть еще один принципиальный результат: структура рецептора конформационно подвижна, и в частности, взаимодействие G-белка с рецептором повышает силу его связывания с лигандом. В итоге Лефковиц и его коллеги пришли к выводу, что для эффективной сигнализации необходим тройной комплекс — лиганд, рецептор и G-белок.

Хотя Лефковиц и его коллеги имели незначительное количество пептида (кандидата на роль β_2 -адренорецептора), они в середине 1980-х, используя микросеквенирование, сумели про-

читать ряд аминокислотных последовательностей и сконструировать на их основе олигонуклеотидные пробы для клонирования гена, кодирующего рецептор. Решающая часть этих работ принадлежит Брауну Кобилке.

Браун Кобилка родился 30 мая 1955 г. в городке Литтл Фолс (штат Миннесота, США). Образование получил в школе Медицины при Йельском университете, стажировался в университете Дж.Вашингтона (Сент-Луис) и после защиты диссертации доктора медицины (MD) работал в лаборатории Лефковица. Основным результатом его деятельности в эти годы было клонирование и получение рекомбинантного β_2 -адренорецептора.

В лабораториях Лефковица и Р.Диксона независимо были

получены нуклеотидные последовательности для всех пептидов, полученных при анализе аминокислотной последовательности β_2 -адренорецептора. В конечном итоге была определена нуклеотидная последовательность кодирующего этот рецептор гена. Он содержал единственный экзон, что оказалось характерным, как было установлено позже, для GPC-рецепторов многих типов, включая α_2 -адренорецептор, мускариновые рецепторы и дофаминовый рецептор D_1 .

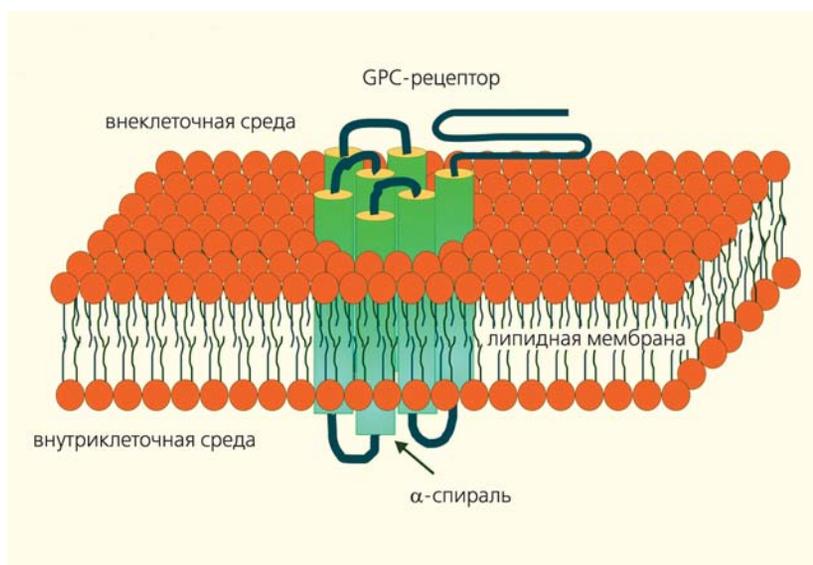
Определение полной аминокислотной последовательности β_2 -адренорецептора позволило предположить наличие семи трансмембранных α -спиралей. Справедливости ради следует сказать, что β_2 -адренорецептор не первый мембранный и рецепторный белок с установленной аминокислотной последовательностью и топологией. Уже были известны бактериородопсин и зрительный родопсин, в структуре которых имелось семь трансмембранных гидрофобных α -спиралей [3]. В то время подобную топологию в мембране приписывали только светочувствительным белкам. Однако пионерные работы Лефковица впервые продемонстрировали, что GPC-рецепторы обладают универсальной мембранной топологией, сходной с таковой родопсина. Сейчас это уже канонический факт.

Клонирование адренорецепторов имело еще одно последствие, повлиявшее на изучение биологических функций GPC-рецепторов. Их структурная аналогия со зрительным родопсином наводила на мысль об их функциональном сходстве. Так, оба типа рецепторов фосфорилировались стимул-зависимым образом, при этом уменьшалась их чувствительность. В случае родопсина за светозависимое фосфорилирование ответствен фермент родопсинкиназа, а в случае β_2 -адренорецептора — гомологичная киназа, названная Лефковицем β -адренорецепторной ки-

назой. Впоследствии многочисленными работами других авторов подтвердили существование целого класса киназ (GPC-рецепторных киназ), обеспечивающих специфическую зависимость агонистов от инактивации GPC-рецепторов.

В 1986 г. Г.Кюн с коллегами обнаружил, что белок, ранее получивший названия S-антиген и 48K-белок, связывается с фосфорилированным родопсином, препятствуя тем самым активации G-белка трансдукции. Было ясно, что 48K-белок, переименованный П.Либманом в «аррестин», играет принципиальную роль в выключении каскада фототрансдукции. Аналогичный фактор искали и в лаборатории Лефковица; назвали его β -аррестином, поскольку предполагалось его инактивирующее влияние на β -адренорецептор. Оказалось, что β -аррестин действительно участвует в инактивации β -адренорецептора и, как стало ясно позднее, практически всех других GPC-рецепторов, препятствуя активации сопряженных с ними G-белков.

Лефковиц выяснил также ряд других клеточных функций β -аррестина. Оказалось, что он взаимодействует с белком клатрином, запуская тем самым довольно сложную машинерию, которая обеспечивает выход рецептора в цитоплазму клетки, с последующей его деградацией или возвращением на мембрану. Кроме того, выяснилось, что GPC-рецепторы могут инициировать внутриклеточную сигнализацию без участия G-белков. Тогда сигнальная функция рецепторов реализуется за счет взаимодействия с β -аррестином, который сопрягает рецептор с рядом тирозиновых киназ нерцепторного типа, фосфатидилинозитол-3-киназой и протеин-киназой В (РКВ). Открытие такой сигнализации, не опосредованной G-белками, привело к замене используемой ранее аббревиатуры GPCR (G-protein coupled receptor) на 7-TMR (seven-transmembrane receptor).



Топология GPC-рецептора в плазматической мембране клетки.

В 1989 г. Б.Кобилка возглавил лабораторию в Стенфордском университете (Стенфорд, Калифорния), где начал структурные исследования β_2 -адренорецептора и других рецепторов. Его работы с использованием флуоресцентно-меченных β_2 -адренорецепторов продемонстрировали, что при связывании различных лигандов, таких как полный и частичный агонисты или антагонисты, β_2 -адренорецептор принимает различные конформации. Подобные наблюдения предполагают весьма сложную картину активации 7-ТМ-рецепторов и указывают на то, что эффективность передачи возбуждения внутриклеточным сигнальным белкам зависит от конформации рецептора, определяемой данным лигандом.

В 2007 г. Кобилка и коллеги впервые представили две структуры β_2 -адренорецептора, полученные при рентгеноструктурном анализе кристаллов химер из β_2 -адренорецептора и аксесорных белков, обеспечивших кристаллизацию. Методику получения химеры β_2 -адренорецептора с T_4 -лизоцимом, разработанную в лаборатории, в дальнейшем использовали для рентгеноструктурного анализа M_2 - и M_3 -мускариновых рецеп-

торов, μ - и δ -опиоидных рецепторов и рецепторов, активируемых протеазами. Все структуры, полученные на этом этапе, принадлежали неактивным рецепторам.

Разумеется, наиболее животрепещущий вопрос — это выяснение активной конформации 7-ТМ-рецептора, в которой он стимулирует внутриклеточную сигнализацию, и анализ его перехода от неактивного к активному состоянию. Данная проблема имеет не только академический интерес. В геноме человека порядка 1000 генов (~5%) кодируют 7-ТМ-рецепторы, которые участвуют практически во всех мыслимых физиологических процессах. По различным оценкам, агонисты или антагонисты 7-ТМ-рецепторов составляют основу от 30 до 50% современных лекарственных препаратов, часть из которых получали, исходя из структурных соображений. Правда, в основе отбора возможных активных структур лигандов преимущественно лежал критерий максимальной энергии связывания. На примере обратных агонистов и антагонистов мы сегодня понимаем, что этот критерий должен дополняться оценкой эффективности связывания, что требует

анализа активных конформаций 7-ТМ-рецепторов.

Движение в этом направлении уже началось. Недавно в лаборатории Кобилки получены три новые структуры β_2 -адренорецептора — связанного с антагонистом (неактивное состояние), связанного с агонистом (активное состояние) и связанного с агонистом и G-белком (активное состояние). Две первых структуры отличались мало, и наиболее драматические от-

носительные изменения были в структуре тройного комплекса. Последнее дает надежду, что мы достаточно близки к расшифровке структурных аспектов активации 7-ТМ-рецепторов, направляемой связыванием лигандов.

Краткий ретроспективный обзор состояния дел в обширной области исследований 7-ТМ-рецепторов не оставляет сомнений в том, что Роберт Лефковиц и Браен Кобилка на-

граждены по праву, и что их вклад в существующие представления о структуре и функции 7-ТМ-рецепторов трудно переоценить. Можно ли отнести к фундаментальной химической проблеме выяснение деталей молекулярных взаимодействий рецепторов с лигандами и внутриклеточными эффекторами? Хотя у меня нет однозначного ответа на этот вопрос, но Нобелевский комитет ответил на него положительно. ■

© С.С.Колесников,

доктор биологических наук
Институт биофизики клетки РАН
Пушино

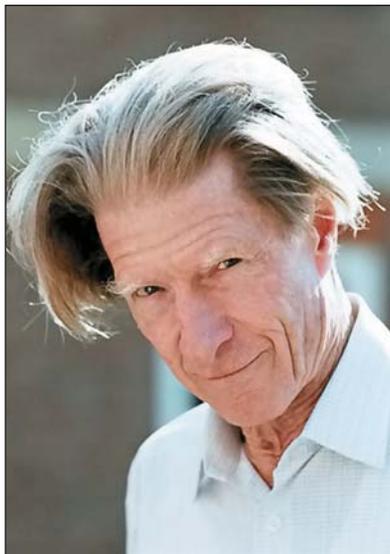
Литература

1. *Ablquist R.P.* Adrenergic receptors: a personal and practical view // *Perspect. Biol. Med.* 1973. V.17. P.119—122.
2. *Ovchinnikov Y.A.* Rhodopsin and bacteriorhodopsin: structure-function relationships // *FEBS Lett.* 1982. V.148. P.179—191.
3. *Robison G.A., Butcher R.W., Sutherland E.W.* Adenyl cyclase as an adrenergic receptor // *Ann. New York Acad. Sci.* 1967. V.139. P.703—723.

По физиологии или медицине — Д.Гёрдон, С.Яманака

Нобелевская премия 2012 г. по физиологии или медицине присуждена Д.Гёрдону (Великобритания) и С.Яманака (Япония) за «открытие возможности репрограммирования дифференцированной клетки в плюрипотентную».

Джон Гёрдон (John Gurdon) родился 2 октября 1933 г. в г.Диппенхале (Великобритания). Образование получил в старейших учебных заведениях Великобритании: после окончания знаменитого Итонского колледжа поступил в Крайст-Чёрч — один из самых крупных аристократических колледжей Оксфордского университета, где начал изучать антиковедение на отделении классических языков



Джон Гёрдон



Синья Яманака

и литературы, но вскоре перевелся на зоологический факультет, которым в то время руководил прославленный морской биолог А.К.Харди. Окончив университет и поступив в аспирантуру, Гёрдон занялся эмбриологией в лаборатории М.Фишберга. Цель диссертационной работы Гёрдона — повторить сенсационные опыты американских ученых Р.Бриггса и Т.Кинга, которые в 1952 г. успешно пересадили ядро из яйцеклетки одной лягушки в яйцеклетку другой и таким образом получили первое в истории науки клональное* животное. В отличие от Бриггса и Кинга, которые были уверены в том, что клетка в развитии претерпевает необратимые изменения, Гёрдон, внедрив в яйцеклетку шпорцевой лягушки (*Xenopus laevis*) ядро соматической клетки (эпителия кишечника головастика), доказал обратное. Этот эксперимент благодаря развитию технологий, удаче или личным качествам исследователя прошел успешно. Завершился он в 1958 г., но статью опубликовали только в 1962 г., когда клональные лягушки выросли, а новая после Бриггса и Кинга идея устоялась в головах. После получения кандидатской степени Гёрдон, по совету Фишберга «заняться

чем-то новым», уехал в Калифорнийский институт технологий, чтобы изучать генетику бактериофагов. Однако в 1962 г. вернулся в Оксфорд и до 1971 г. занимал должность профессора на зоологическом факультете, которая освободилась после ухода Фишберга. В 1971-м Гёрдон продолжил эксперименты по изучению раннего развития на модели лягушки в Кембриджском университете, а в 1989 г. основал в Кембридже Институт клеточной биологии и онкологии, которым руководил до 2001 г. Сейчас сэр Гёрдон член Лондонского королевского общества (1971), лауреат премии Вольфа (1989), премии Ласкера (2009), а теперь и Нобелевской премии, — почетный профессор созданного им института, который в 2004 г. был переименован в Институт имени Гёрдона.

Синья Яманака (Shinya Yamanaka) родился 4 сентября 1962 г. в Осаке (Япония). Получив диплом хирурга в Кобском университете (1987) и защитив диссертацию в Университете Осаки (1993), Яманака отправился на стажировку в Гладстонский институт сердечно-сосудистых заболеваний (Сан-Франциско). Там он впервые занялся клеточной биологией в поисках лечения комплексных заболеваний. Спустя три года он вернулся в Медицинскую школу Университета Осаки и в 1999 г., а через год после выделения эмбриональных стволовых клеток (ЭСК)** человека, решил посвятить себя изучению их свойств. Начав с должности доцента, в 2003 г. Яманака стал профессором Института науки и технологий Нары, а в следующем году — профессором Университета Киото. К 2006 г. он накопил достаточно экспериментальных данных о так называемых ЭСК-ассоциированных транскриптах (т.е. о генах, работа которых необходима для самоподдержания

ЭСК), чтобы поставить необычный эксперимент, за результаты которого и получил Нобелевскую премию. Сейчас Яманака — обладатель десятков международных премий, директор Центра изучения и применения индуцированных плюрипотентных клеток (Киото), профессор Института медицинских наук в Университете Киото, старший научный сотрудник Института имени Дж.Д.Гладстона (Сан-Франциско), профессор анатомии в Университете Калифорнии (Сан-Франциско) и президент Международного общества исследователей стволовых клеток.

В этот раз Нобелевский комитет поставил рекорд — вручил премию за эксперименты, результатам которых еще далеко до рутинной медицинской практики. Причем последний из них проведен всего шесть лет назад. К чему такая спешка? Можно ли считать, что технология репрограммирования соматических клеток коренным образом изменит как фундаментальную, так и практическую биомедицину?

На самом деле никакой спешки нет. В основе подхода Яманаки лежат данные многих экспериментов, среди которых один из первых описан в работе Гёрдона. Как пишет сам Яманака в своей недавней статье, сразу несколько больших идей дали начало получению индуцированных плюрипотентных стволовых клеток (иПСК)***.

У истоков одной идеи стоит Гёрдон, который доказал, что взрослая клетка способна проходить «развитие наоборот» при помещении ее в яйцеклетку, т.е. изменять свою программу (репрограммироваться). Это говорит о том, что, во-первых, большинство клеток взрослого животного отличаются друг от друга и от эмбриональных клеток

* Изначально термины «клоны» и «клонирование» (генетически идентичные клетки и их получение) использовались в микробиологии, затем — в генетике, а теперь вошли и в повседневный обиход. Одним из первых применил эти термины по отношению к животным британский биолог и популяризатор науки Д.Б.С.Холдейн в 1963 г., когда описывал результаты исследований Гёрдона. Однако важно понимать, что точное воспроизведение животного при искусственном клонировании невозможно. Новый организм в любом случае будет отличаться от материнского из-за соматических мутаций, эпигенетических изменений наследственного материала, влияния окружающей среды и случайных отклонений, возникающих в ходе индивидуального развития организма. — *Примеч. ред.*

** Подробнее см.: Киселев С.Л., Лагарькова М.А. Эмбриональные стволовые клетки // Природа. 2006. №10. С.49—55.

*** Подробнее см.: Киселев С.Л., Шутова М.В. Репрограммирование клеток: прыжок вверх по лестнице, ведущей вниз // Природа. 2010. №5. С.3—10.



Три ветви развития науки, которые привели к получению первых иПС-клеток в 2006 г. (вверху), а также новые пути развития, которые возникли благодаря разработке технологии репрограммирования.

только на надгенетическом (эпигенетическом) уровне, а такие изменения можно обратить. Наглядное подтверждение тому — успех многочисленных экспериментов по клонированию различных животных. Во-вторых, эксперимент Гердона означает, что в яйцеклетке существуют факторы, которые могут вернуть ядро взрослой клетки в плюрипотентное состояние.

Принцип действия таких факторов был обнаружен спус-

тя двадцать лет в работах Г.Вайнтрауба и В.Геринга 1987 г. Они оба нашли гены, включение которых направляло превращение дифференцированных клеток одного типа в другой. Геринг установил, что при экзогенной экспрессии гена *Antp* антеннулы или клетки дорзальной части головы дрозофилы превращались в клетки второго грудного сегмента. Вайнтрауб выделил ген *MyoD*, заставляющий эмбриональные фиб-

робласты курицы, крысы и человека экспрессировать гены, характерные для мышечных клеток. Оба главных гена-дирижера, названные транскрипционными факторами (ТФ), как и другие ТФ, специфичны для каждого типа клеток и могут контролировать работу тысяч генов второго и третьего порядка.

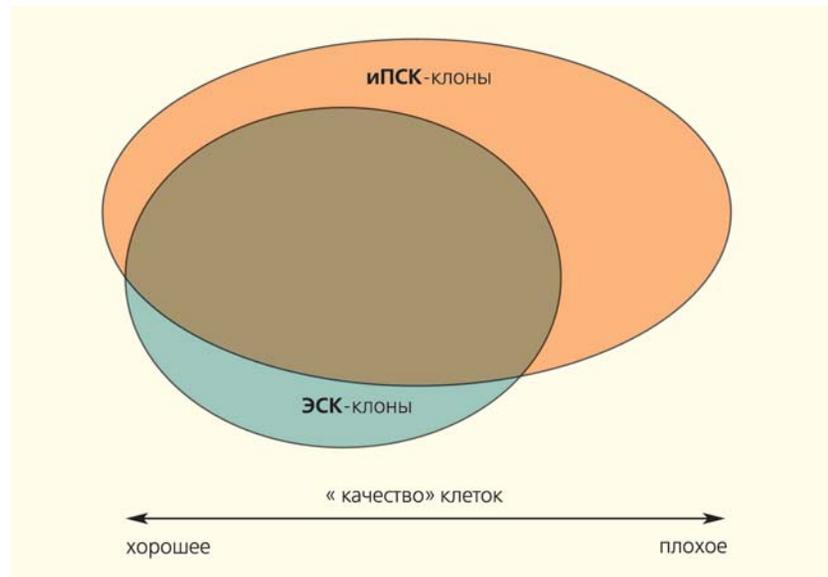
Еще одно важное направление работ связано с получением, культивированием *in vitro* (искусственным выращиванием) клеток в контролируемых условиях) и дифференцировкой ЭСК мыши, а затем и человека. Эти ЭСК (выведенная *in vitro* внутренняя клеточная масса бластоцисты — одного из самых ранних этапов развития эмбриона) обладают двумя важнейшими свойствами. Во-первых, они плюрипотентны, т.е. способны дифференцироваться во все типы клеток взрослого организма. Во-вторых, бессмертны *in vitro* благодаря работе теломеразы, не позволяющей уменьшаться теломерным повторам на концах хромосом, а также экспрессии целого комплекса генов, отвечающих за самоподдержание и рост (пролиферацию) этих клеток.

Гены, ассоциированные с плюрипотентным состоянием, и изучал Яманака. Его сотрудник, К.Такахаша, предложил ему ввести 24 гена (ТФ из полученного для ЭСК списка) в соматическую клетку и посмотреть, не приобретет ли она свойства эмбриональной. И действительно, через две недели после включения экзогенной экспрессии выбранных ТФ в клетках мышечных эмбриональных фибробластов появилась эндогенная экспрессия одного из генов, характерных для ЭСК (*Fbx15*). Такахаша по очереди убирал ТФ из списка, и в итоге в эксперименте показал, что экспрессия всего четырех генов (*Oct4*, *Sox2*, *KLF4*, *c-Myc*) необходима и достаточна для появления этого маркера. Более того, полученные клетки оказались практически идентич-

ны ЭСК мыши по многим другим свойствам, и, что самое главное, они были плюрипотентны. Так в одном эксперименте сошлись знания о репрограммировании, ТФ и свойствах ЭСК.

Когда в 2006 г. Яманака вышел с докладом об этом эксперименте на главной конференции Международного общества изучения стволовых клеток, в зале находилось несколько тысяч человек. Посыпались вопросы, и было решено отправить результаты на проверку в несколько уважаемых американских лабораторий. Однако, через полгода результаты Яманаки были воспроизведены, и, более того, вышли статьи, в которых указывались другие сети генов, репрограммирующие соматические клетки человека и мыши. Неизменным в этих сетях был ТФ *Oct4*, главный дирижер в поддержании, и, как оказалось, индукции плюрипотентности. Эти работы, вышедшие сразу после статьи Яманаки, говорят о том, что идея — сделать «искусственные» ЭСК путем включения определенного набора ТФ — витала в воздухе.

После подтверждения работы «коктейля Яманаки» начался бум исследований по получению иПСК. За следующие четыре года вышло несколько тысяч статей, в которых докладывалось о получении иПСК из всевозможных клеток мыши, потом — человека, потом — свиньи, и даже собаки. Идея пластичности генома, возможности включать и выключать гены, ассоциированные с тем или иным типом клеток, привела к работам по трансдифференцировке, когда из одного дифференцированного типа клеток напрямую делали другой (нейроны из фибробластов или повторение работ с геном *MyoD* по получению функциональных мышечных клеток). Однако ученых продолжала беспокоить низкая (порядка 0.01%) эффективность процесса репрограммирования, а также способ введения экзогенов с помощью



Пересечение вариаций между иПСК- и ЭСК-клонами. Полученные данные о множестве свойств иПСК и ЭСК, таких как экспрессия генов, метилирование ДНК, дифференцировочный потенциал и др., позволяют говорить о некоторой разнице между клонами каждого типа клеток. Если взять данные большого количества лабораторий, становится ясно, что между свойствами ЭСК и иПСК есть значительное пересечение, однако часть линий и того и другого типа могут отличаться друг от друга. Это оставляет открытым вопрос как об «идеальных ЭСК», так и об «идеальных иПСК».

лентивирусов, которые грубо встраивали их в непредсказуемые места генома в практически неконтролируемом количестве копий.

Несмотря на все это, технология репрограммирования открывала множество перспектив. Получалось, что иПСК — это как ЭСК, только лучше. Они, так же как ЭСК, плюрипотентны и бессмертны, и к ним можно применять дифференцировочные протоколы, разработанные для ЭСК. Но при работе с иПСК не нужно общаться с Комитетом по этике, что особенно важно для американских ученых, которым регулярно запрещают «мучить младенцев». К тому же можно сделать иПСК для любого конкретного человека. Это важно как для фундаментальной науки, так и для практической. Например, благодаря технологии репрограммирования нашли причины наследственной дизаутомии, и даже предложили варианты генетической коррекции, но пока *in vitro*. Эта идеология —

получить иПСК для пациента с наследственным заболеванием, а затем проследить в пробирке развитие этого заболевания — сейчас работает для множества болезней, включая такие «раскрученные», как болезни Паркинсона, Альцгеймера и Гентингтона. Теперь можно не только выяснить их причины, но и протестировать на клетках пациента возможное лечение. Ну и конечно все, что касается трансплантологии, так же применимо к иПСК, как и к ЭСК, только без проблем с иммунным ответом на чужеродную ткань. В этом году, через четыре года после первых тестов для производных ЭСК, начались первые клинические тесты клеток, полученных из иПСК пациентов. Больным дистрофией желтого пятна подсаживают ткань, выращенную из их собственных клеток кожи. На подходе тесты с применением олигодендроцитов, полученных из иПСК, для восстановления миелиновых оболочек в спинном мозге пациентов с травмами. В Управлении

по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных препаратов (агентстве Министерства здравоохранения и социальных служб США) оправдываются, что выборки в испытаниях производных и ЭСК, и иПСК маленькие, потому что им необходимо доказать принципиальную безопасность обоих типов клеток. Тем не менее становится понятно направление развития отрасли, связанной с применением иПСК в медицине.

Сейчас уже решены проблемы использования методов доставки, в результате которых репрограммирующие гены остаются в геноме клетки: вместо лентивирусов берут аденовирусы или сендай-вирус, а также доставляют ТФ в виде РНК или белков (правда, пока с крайне низкой эффективностью). Но проблемы с эффективностью репрограммирования остаются те же: после трех лет, в течение которых вышли сотни статей по влиянию на нее дозы трансгенов, мест встраивания, особенностей культивирования, начального типа клеток, а также публикации по применению химических агентов для блокирования апоптоза, или стимулирования работы метилтрансфераз, мы остаемся в рамках 1–3%. На самом деле этого вполне достаточно, ведь получаемые иПСК клоны бессмертны, и на одного пациента их нужно все-

го 10–15 для получения пары «идеальных». Низкий процент говорит о нашем плохом понимании того, что происходит в процессе репрограммирования, а это намного более глубокий и фундаментальный вопрос, чем просто применение технологии. В последние пару лет вышло несколько десятков статей, пытающихся объяснить процесс репрограммирования. Все сходится на том, что существует первая фаза, во время которой клетка «сходит с ума» под действием таких мощных модуляторов экспрессии генов, как введенные ТФ. Она должна полностью изменить структуру хроматина, выключив «свои родные» соматические гены. Главные в этом «балете» — дирижеры ЭСК, *Oct4* и *Sox2*. На данном этапе вероятнее всего работают стохастические механизмы, и небольшому проценту клеток, который преодолел эту планку, предстоит перепрыгнуть еще через одну — установление паттерна экспрессии генов и эпигенетического статуса, соответствующего ЭСК. Тут возникает еще один вопрос — что такое «идеальные иПСК»? Ответ важен не только для фундаментальной науки, но и для медицинского применения иПСК. Мы знаем, что все плюрипотентные клоны, хотя функционально такие же, как ЭСК, по более глубоким полногеномным анализам отлича-

ются от разных линий ЭСК — так же, как сами эти линии друг от друга. Иными словами, мы не знаем, такие отличия — это результат разных «родителей» или вклад репрограммирования? Есть несколько работ, сравнивающих изогенные линии клеток ЭСК и иПСК. В них описывается счетное число (в пределах 20) изменений в эпигенетическом статусе и паттерне экспрессии генов, причем непонятно, как объяснить большую часть. Более того, неизвестно, насколько эти изменения повлияют на свойства линий иПСК.

Ясно, что в захватывающей области изучения репрограммирования еще множество нерешенных вопросов. Сейчас эту технологию освоили и применяют для своих задач в большинстве лабораторий мира. У нас в руках оказался конструктор, позволяющий задавать генетическое и эпигенетическое состояние клетки, причем смотреть на результат в процессе развития или дифференцировки. Эта увлекательная игра в лево даст нам в ближайшее время много поводов задуматься, удивиться получаемым результатам, а также разработать множество новых биомедицинских технологий. Именно за это и дали Нобелевскую премию — за игрушку, которая поможет нам лучше понять устройство клетки и мир вокруг. ■

© М.В.Шугова,

кандидат биологических наук

С.Л.Киселев,

доктор биологических наук

Институт общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН

Москва

Планеты далекие и близкие

Д.З.Вибе,
доктор физико-математических наук
Москва

Звездное небо с незапамятных времен было для человека объектом восхищения и поклонения. Однако несколько сотен лет назад к взаимоотношениям человека и неба добавился новый оттенок: оно стало предметом не только разглядывания, но и *научного исследования*. За последнее столетие картина мира существенно преобразилась, причем в некоторых областях астрономии она особенно сильно изменилась с середины 1990-х годов, когда было совершено сразу несколько важнейших открытий. Одним из них стало обнаружение планет у других звезд.

Когда-то существованием иных планетных систем занимались исключительно фантасты. Но вот прошла всего пара десятилетий со дня обнаружения первой внесолнечной планеты, и их открытие стало рутинной. Дошло до того, что об открытии отдельных планет уже и не сообщают. Занятые их поиском группы ждут, пока накопится достаточное количество «новичков», а потом представляют общественности информацию о них «оптом».

В этой рутине, к сожалению, теряется суть исследовательской работы, понимание того, что нынешний успех наблюдательной астрономии базируется на усилиях ученых и инженеров не только сегодняшних, но и предыдущих поколений. Между тем со времен У.Гершеля *каждая* новая открытая планета — что в Солнечной системе, что за ее пределами — требует колоссальных трудов, терпения и тщательности.

В книге В.Г.Сурдина «Разведка далеких планет» предпринята попытка рассказать о современных методах изучения планет и их спутников и о результатах этих работ. При этом автор не боится затронуть основы и начинает книгу с базовых сведений, без которых невозможно понимание методов, которыми работает современная астрономия. В первой главе книги рассказывается о том, как появились на карте неба созвездия и от чего зависит видимость созвездий и небесных светил в различных точках земной поверхности, о том, как присваиваются имена небесным объектам — звездам, кометам, астероидам и др. Последнее особенно своевременно, с учетом того что среди многочисленных мастеров делать деньги из воздуха, значительное место принадлежит разнообразным «продавцам звезд», готовых за скромную, а то и нескромную сумму вручить любому желающему сертификат о том, что в его честь названа звезда.

Вторая глава книги посвящена любительской астрономии. Наличие такого хобби для астрономии — счастливый подарок судьбы. Благодаря этому, например, небольшие телескопы производятся серийно, что существенно снижает их стоимость. Но дело, конечно, не только в приборах. Наверное, ни в какую другую науку любители не внесли столь весомого вклада. Наблюдательность, терпеливость, мобильность — вот качества, которые и сегодня позволяют астрономам-любителям во многих случаях соперничать с учеными, особенно если принять во внимание, что опти-



Сурдин В.Г. РАЗВЕДКА
ДАЛЕКИХ ПЛАНЕТ.

М.: Физматлит, 2011. 352 с.

ка любительских телескопов ничуть не уступает оптике профессиональных приборов (просто не отличается!).

Во второй главе читатель познакомится с примерами открытий, сделанных любителями, с выдающимися непрофессиональными астрономами прошлого. Вы узнаете об объединениях и организациях любителей астрономии, о том, как и куда можно сообщить об открытии нового объекта. Здесь же содержатся краткие рекомендации по выбору инструментария. Это тоже часто возникающий вопрос. Еще каких-нибудь лет 30 назад у отечественного любителя астрономии был выбор между двумя-тремя марками серийных «школьных» инструментов и перспективой изготовить прибор самому. Сейчас количество различных моделей любительских телескопов, наверное, соперничает с количеством доступных марок автомобилей, и разобраться в них бывает так же непросто. Автор дает вполне справедливую рекомендацию: начать следует с недорогого инструмента, который позволит познакомиться с основными нюансами и, так сказать, войти во вкус.

Третья глава открывается описанием неба и особенностей работы человеческого глаза, который безо всяких технических ухищрений позволяет заглянуть на 2 млн св. лет — именно на таком расстоянии от нас находится туманность Андромеды, самый далекий объект, видимый невооруженным глазом (из постоянно присутствующих на небе). Но для большинства астрономических наблюдений глаз все-таки не годится, поэтому для серьезной науки требуются серьезные телескопы. Из третьей главы вы узнаете, как появился и как развивался телескоп, сколь причудливыми были конструкции первых приборов, как астрономический инструментарий постепенно обретал современный облик. Описаны такие особенности телескопов XXI в.,

как активная и адаптивная оптика. Последняя технология особенно поражает воображение: подставив под световой пучок гибкое зеркало, можно быстро менять его форму таким образом, чтобы изогнутая нужным образом отражающая поверхность компенсировала искажения, вносимые в звездный свет атмосферной турбулентностью. Это позволяет добиваться на наземном инструменте качества изображения, ранее достигнутого только из космоса. Но, конечно, для этого необходимо не только создать хороший телескоп и оснастить его качественным оборудованием. Нужно еще и поставить его в правильном месте — с хорошим «астроклиматом» и отсутствием городской засветки, которая в последнее время стала для астрономов настоящей бедой.

Собственно разговор о планетах начинается в четвертой главе — с открытия Урана Гершелем. Это вполне закономерно, потому что именно это событие впервые показало, что не только исследование, но даже простой подсчет планет Солнечной системы еще не закончен. Упомянуто в книге и сформулированное примерно в то же самое время правило Тициуса—Боде, венчающее собой целую череду попыток найти закономерности в планетных расстояниях. Надо сказать, что ни природа этой закономерности, ни даже сама ее реальность до конца так и не установлены. Тем не менее, приходится признать, что правило Тициуса—Боде как минимум один раз продемонстрировало предсказательную силу — в истории открытия астероидов, которая подробно описана в книге! Так же детально изложены и истории открытия Нептуна и Плутона. Последняя, как мы теперь знаем, оказалась особенно драматичной: невероятные усилия, затраченные Клайдом Томбо на девятую планету Солнечной системы, в 2006 г. были сведены Международным астрономическим сою-

зом к открытию всего лишь *карликовой* планеты, причем даже не первой... Зато Плутон оказался первым представителем одного из самых интересных классов объектов Солнечной системы — пояса Койпера.

Следует особо отметить одну деталь: в книге рассмотрены два аспекта строения и эволюции Солнечной системы, которые часто выпадают из сферы внимания авторов книг по астрономии. Это поиски Вулкана — планеты, расположенной между Солнцем и Меркурием, и эффект Ярковского. Казалось бы, зачем писать о Вулкане, если он не обнаружен? Однако в науке важны не только успехи, но и неудачи, особенно если удастся понять, с чем они связаны. Впрочем, иногда неудачи оказываются даже важнее успехов: поиски Вулкана привели к обнаружению периодичности солнечной активности и смещения перигелия Меркурия.

Эффект же Ярковского, предложенный И.О.Ярковским в качестве объяснения происхождения силы, которая заставляет планеты двигаться по орбитам, в наше время вдруг оказался важным фактором, влияющим на эволюцию орбит астероидов. Среди прочего, эффект Ярковского, как показывают расчеты, способен смещать астероиды Главного пояса в резонансные зоны, откуда их может выбрасывать в центральную область Солнечной системы, в том числе в сторону Земли.

Несколько неожиданный взгляд на планеты и астрономию предлагается в пятой главе: иногда сами планеты и другие астрономические объекты способны выступать в роли телескопов (точнее, в качестве различных астрономических приспособлений)! Луна, например, исправно служит фильтром, закрывающим от телескопа нежелательное излучение. Солнечное затмение — самый очевидный, но далеко не единственный пример такого рода. Важную информацию можно из-

влекать и из наблюдения покрытия звезд Луной. Для космического радиотелескопа Луна может стать экраном от земных помех. Покрытие звезд планетами позволяет исследовать планетные атмосферы, а сама Земля может служить защитой от разнообразных помех для чувствительнейших нейтринных детекторов.

Шестая глава посвящена одному из самых актуальных направлений современной астрофизики — исследованию экзопланет. Середина 1990-х годов ознаменовалась сразу двумя важными открытиями в этой области. Во-первых, была открыта первая планета у нормальной звезды, во-вторых, был открыт первый коричневый карлик. Чуть позже, в 2000 г., выяснилось, что диапазоны масс планет и коричневых карликов перекрываются, так что перед астрономией ребром встал вопрос о том, что вообще следует считать планетой!

Разнообразие открытых внесолнечных планетных систем свидетельствует, что путей формирования и эволюции планет может быть гораздо больше, чем мы можем представить себе на основе изучения одной только Солнечной системы. Так что вопрос терминологии в данном случае — это не просто проблема выбора нужного слова. Это проблема понимания различных способов конденсации межзвездного вещества.

В главе подробно описаны различные методы поиска экзопланет, приводятся наиболее характерные примеры их применения. Разумеется, не остались в стороне и планеты у пульсаров. Исторически они стали первыми телами планетных масс, обнаруженными вне

Солнечной системы, но ни их происхождение, ни справедливость их отнесения к классу планет окончательно не установлены. Обсуждаются, конечно, и вопросы, связанные с возможной обитаемостью внесолнечных планет.

Несмотря на открытие уже почти тысячи таких планет, конкретной причиной для пересмотра определения термина «планета» стали вовсе не они, а небольшой астероид, обнаруженный в 2004 г. на окраине Солнечной системы. При всей его малости он оказался сравним по размерам с Плутоном, который в семье больших планет всегда был чужаком. В результате Плутон был переведен в разряд планет-карликов. Это решение Международного астрономического союза устроило не всех и стало поводом для многочисленных обид и резких высказываний. Поэтому астероид, из-за которого было принято решение о смене статуса Плутона, получил имя древнегреческой богини раздора Эриды.

Помимо Эриды и Плутона в семейство карликовых планет пока входит только еще одно тело — астероид Церера Главного пояса. О прочих телах за орбитой Нептуна нам известно пока крайне мало. Не исключено, что там скрывается еще много карликовых планет, ждущих своего открытия. Нам остается только надеяться, что важным этапом разведки далеких планет в Солнечной системе станет космический зонд «New Horizons», который направляется сейчас к Плутону и в пояс Койпера. Карликовые планеты стали темой седьмой главы.

Восьмая глава книги отдана телам, которые по официальной номенклатуре МАС планетами

не считаются. Ибо нынешнее определение прежде всего требует, чтобы планета обращалась именно вокруг звезды. Поэтому планетами не могут считаться спутники. Но всегда ли справедливо это требование? Попробуйте, например, поставить рядом изображения Меркурия и Луны и объяснить, почему Меркурий считается планетой, а Луна — нет. Правда, Луна немного меньше Меркурия, но в Солнечной системе есть спутники и крупнее его!

В восьмой главе вы найдете рассказ о некоторых наиболее интересных спутниках, особенно о тех, которые в последние годы становятся предметом активного изучения с помощью космических аппаратов, — о Луне, Титане и Энцеладе.

Заключительная — девятая — глава книги содержит в себе разнообразную справочную информацию.

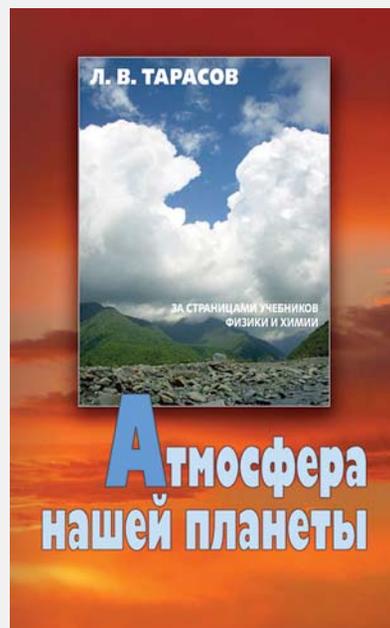
В целом книгу «Разведка далеких планет» можно смело рекомендовать в качестве первой книги по астрономии. Кому-то может показаться, что автор слишком много внимания уделяет общим вопросам, а собственно о далеких планетах говорит не так много. Но сейчас, кажется, это единственный возможный подход. Уровень астрономических познаний даже среди образованных людей порой вызывает оторопь. Рука об руку с ним идет готовность верить во все без разбора, без критической оценки. В этой ситуации важно при любой возможности напоминать о том, как тщательный анализ данных и взвешиванный подход к гипотезам позволяют распространить познание даже на далекие планеты, которые иногда нельзя разглядеть даже в мощный телескоп. ■

Редакция поздравляет члена редколлегии журнала «Природа» Владимира Георгиевича Сурдина, ставшего с книгой «РАЗВЕДКА ДАЛЕКИХ ПЛАНЕТ» лауреатом премии «Просветитель» в области естественных и точных наук.

География. Физика. Химия

Л.В.Тарасов. АТМОСФЕРА НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ.
 М.: Физматлит, 2012. 420 с.

Книга посвящена физике и химии земной атмосферы. Используя известные школьникам физические и химические понятия, представления и законы, автор характеризует строение и состав основных слоев атмосферы. Далее рассматриваются представления об эволюции атмосферы от архея до наших дней. Уделено внимание циркуляции воздушных масс в атмосфере, выражающейся в глобальных и местных ветрах, циклонах и антициклонах, тайфунах и смерчах. Автор обсуждает фазовые переходы в атмосфере, приводящие к образованию туманов и облаков, к выпадению атмосферных осадков. Читатели могут познакомиться с атмосферным электричеством и его проявлениями в виде огней святого Эльма, линейных и шаровых молний. Рассмотрено происхождение различных оптических явлений в атмосфере, таких как миражи, радуга, гало. Завершает книгу обсуждение физики происходящих в верхних слоях атмосферы полярных сияний. В целом круг атмосферных природных явлений, физика и химия которых рассмотрены в данной книге, очень широк. Автор надеется, что ему удалось сделать картину атмосферных явлений более понятной и интересной читателям, что позволит расширить их естественнонаучные представления, и физика и химия станут более близкими и привлекательными.



Физика

Л.Б.Окунь. АЗЫ ФИЗИКИ. ОЧЕНЬ КРАТКИЙ ПУТЕВОДИТЕЛЬ.
 М.: Физматлит, 2012. 168 с.



Физика — наука о природе. В XXI в. основой физики служит так называемая Стандартная модель элементарных частиц, из которых по законам теории относительности и квантовой теории построено все сущее. Эта маленькая книжечка — попытка максимально просто и кратко изложить основы этих теорий. Книга адресована прежде всего профессиональным физикам (особенно молодым) — в надежде на то, что кто-то из них использует изложенные в ней идеи при написании простых курсов современной физики и научно-популярных статей и книг. В книге широко использован математический аппарат, но отобранные формулы настолько просты, что для их понимания достаточно знаний элементарной математики. Автор ставил перед собой две цели. Ближайшая — найти простейший способ для объяснения того, как современная физика элементарных частиц позволяет понять, как устроен окружающий нас мир. Более далекая — перестроить школьное образование физики, оставаясь в рамках элементарной школьной математики. Компактность книги, краткость и емкость формулировок, доступность многих ее страниц даже старшеклассникам, интересующимся физикой, делает книгу чрезвычайно полезной для всех ученых (не только физиков), давая им возможность легко и с удовольствием расширить свой интеллектуальный кругозор.

Физика

М.В.Ковальчук. НАУКА И ЖИЗНЬ: МОЯ КОНВЕРГЕНЦИЯ.

М.: ИКЦ «Академкнига», 2011. Т.1: Автобиографические наброски.

Научно-популярные статьи. 304 с; Т.2: Избранные научные труды. 504 с.

Двухтомник подготовлен к юбилею Михаила Валентиновича Ковальчука — выдающегося ученого в области рентгеновской физики, кристаллографии и нанодиагностики, нано- и биоорганических материалов и систем, одного из идеологов и организаторов развития нанотехнологий в России.

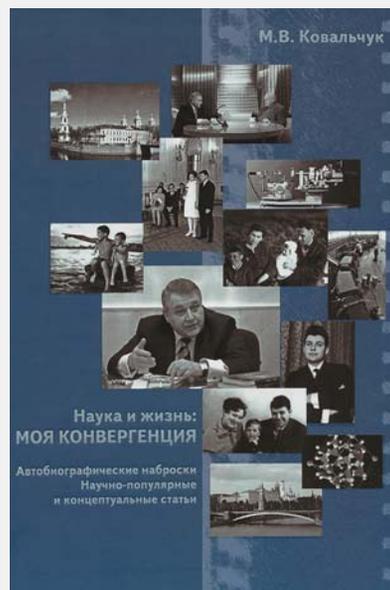
Первый том составляют автобиографические наброски, где Михаил Валентинович ярко и увлекательно рассказывает о своем детстве, юности, годах учебы в университете, работы в Институте кристаллографии Академии наук. Здесь же представлены научно-публицистические статьи автора и его интервью разных лет, в которых затрагиваются различные аспекты научной жизни нашей страны, ее политического и экономического развития, отражены мысли и эмоции автора, связанные с конкретными событиями, процессами. В третьей части первого тома собраны основополагающие, концептуальные статьи Ковальчука, в которых наиболее четко формулируются новые научные идеи или подводятся итог значимому периоду развития какого-то из направлений.

Во второй том вошли избранные научные труды, сгруппированные по основным этапам развития научной деятельности Ковальчука, ее наиболее важным и ярким результатам. В частности, приведены пионерские работы автора, в которых им были заложены основы нового метода исследования конденсированных сред с помощью вторичных излучений в условиях формирования стоячих рентгеновских волн — структурно-чувствительной рентгеновской спектроскопии.

Отдельный раздел сборника посвящен работам по созданию экспериментальной рентгеновской техники нового поколения, предназначенной для работы, как с обычными рентгеновскими источниками, так и на источниках синхротронного излучения. Реализация синхротронного проекта в Курчатовском институте — серьезный вклад Ковальчука в развитие экспериментальных и технологических возможностей России для проведения исследований в области фундаментальных наук, материаловедения, нано- и биотехнологий, молекулярной биологии и медицины.

В двухтомнике отражены разные грани научной, просветительской, идеологической деятельности М.В.Ковальчука, широта его интересов, масштабность решаемых задач. Автобиографические наброски показывают автора как человека с интересной судьбой и к тому же увлекательного рассказчика.

Книга поможет читателю не только проникнуть в мир современной рентгеновской физики, осознать стремительную динамику развития этой области знаний за последние десятилетия, но и почувствовать роль человека, ученого в интереснейшем процессе познания.



Из истории ранней оптической астрономии

А.В.Кузьмин,

кандидат физико-математических наук
Институт истории естествознания и техники РАН
Москва

Переводов труда И.Кеплера «Дополнения к Вителлию» ни на один из современных языков нет, за исключением немецкого. Именно II—V главы, посвященные поиску законов оптики и физиологии зрения, и были достаточно прокомментированы в литературе (в частности — большое внимание исследователи традиционно уделяли устройству человеческого глаза). Книга содержит внушительный именной указатель, в котором по количеству ссылок особо выделяется имя Тихо Браге: Кеплер, как и в процессе создания «Новой астрономии», главным образом осознает здесь его наблюдательный опыт. Здесь переизлагаются и обобщаются данные наблюдений «астрономического лучепреломления» (т.е. атмосферной рефракции) и многие другие достижения Браге, оставленные им в рукописях. Подобные осмысления планетных движений в это же время приводят Кеплера к открытию его знаменитых законов движения планет.

Знакомство с оптическими главами не оставляет никаких сомнений в том, что голландская труба (телескоп Галилея) уже описаны во всех подробностях. В частности, Ю.А.Белый писал: «Это малоизвестное обстоятельство говорит нам о том, что Кеплер за несколько лет до появления “голландской”, или “галилеевой” астрономической трубы дал ее теоретическое обоснование (которое осталось, видимо, тогда незамеченным)» [1].

Труд Кеплера, где приводится теория галилеева телескопа, был издан в 1604 г. Не осознание ли это, как и в случае с движением планет, астрономическим лучепреломлением и измерениями параллакса, научного наследия Браге? Именно в эти годы Кеплер был более всего увлечен разбо-



Иоганн Кеплер — немецкий математик, астроном, оптик, первооткрыватель законов движения планет Солнечной системы.

ром его бумаг и многие положения «Оптической части астрономии» — не обсуждение ли и переизложение неких неизвестных нам исследований Браге? И не ответим ли мы здесь попутно и на вопрос о том, как мог Кеплер со своим, мягко говоря, нестандартным зрением (в результате осложнения после перенесенной в детстве оспы он страдал тяжелой формой астигматизма) создать теорию телескопа и столь ясно ее изложить по меньшей мере за пять лет до издания Галилеем «Звездного вестника».

Потом, уже после открытий Галилея, в своей «Диоптрике» он вновь возвращается к этому и предлагает новую оптическую схему (здесь Кеплер уже мог вывести ее логически, исходя из ясного представления о свойствах лучей). Но мог ли он создать теорию

уже к 1604 году, не имея предварительной информации, причем, разумеется, не своей собственной, как это было и в случае с наблюдениями планет? Могла ли вообще родиться подобная теория опытного полуремесленного создания и испытания подобного инструмента?

Белый писал, что галилеева труба была предсказана Кеплером в «Дополнениях», но возможно ли это без предшествующего опытного, ремесленного этапа? Дело в том, что сам Кеплер не был склонен к такого рода деятельности, но, напротив, виртуозно творил законы планетных движений из доставшихся ему по наследству результатов практических наблюдений. В своих же трудах он был более склонен логически выстраивать четкие схемы теоретического плана.

Так называемая голландская труба (труба Галилея) могла быть уже достаточно хорошо известна Браге или кому-то из его круга (не говоря об участниках его внутрецеховой общины) — к примеру, аугсбургским гуманистам — кругу высокообра-

зованных людей, с которыми Браге еще с юности был хорошо знаком. Нужно заметить, что изобретения, в особенности столь необычные, с большим трудом покидали пределы цехов и внутри этих своеобразных сообществ никогда не принадлежали конкретному изобретателю. Таким образом, некоторые нововведения растворялись в общей массе информации, представляемой единым титульным автором. Браге в последние годы перед своей преждевременной кончиной стал изгнанником. Многие поздние его открытия могли быть известны только Кеплеру, который стал по сути единственным владельцем оставшихся после смерти Браге рукописей.

Как бы там ни было, описание оптической схемы, даже несмотря на то что оно было опубликовано Кеплером в 1604 г., осталось почти незамеченным, и Галилей, уже позже, занял в истории почетное место первооткрывателя. В дальнейшем более ранние, но уже систематические опыты оптической астрономии могли легко исчезнуть в водопаде новых открытий.

Творчество Тихо Браге остается до конца не познанным — ни его современниками (не считая, быть может, Кеплера — и многие достижения Браге мы воспринимаем теперь именно в его интерпретации), ни последователями. Браге сделал больше, чем принято считать. И если бы не преследования в конце жизни, то в очередном томе его исследований могло появиться и подробное описание галилеевой трубы и первых экспериментов с ней.

В связи с этим выводом (пусть и гипотетическим) можно почти полностью процитировать примечание ко второй главе («Астрономические открытия с помощью телескопа») монографии А.Фантоли «Галилей в защиту учения Коперника и достоинства Святой Церкви». Речь идет о возможных предшественниках Галилея, применявших оптику для астрономических наблюдений.

«Дрейк утверждает, — пишет Фантоли, — что Джованни Баттиста делла Порта или Марк Антонио де Доминис, работавшие в области оптики, первыми соорудили примитивные телескопы [2]. Первый телескоп соорудил один итальянский ремесленник в 1590 г. Хорошие мастера были и в Голландии; известно, что они делали телескопы, используя линзы с разными фокусами для объектива и для окуляра. Что касается самих линз, то первые выпуклые линзы были сделаны приблизительно в 1280 г.; когда же научились делать вогнутые линзы — пока неизвестно. Есть утверждение, что первый телескоп сконструировал в Англии Леонард Диггес (между 1540 и 1559 гг.), а первые астрономические наблюдения с его помощью произвел Томас Диггес, его сын... С помощью этого первого телескопа было открыто огромное количество неподвижных звезд, что привело Диггеса к мысли о бесконечности Вселенной за 30 лет до наблюдений Галилея. Возможно, отец и сын Дигге-



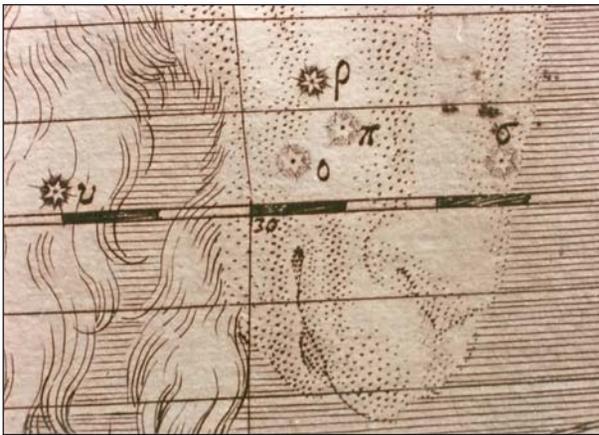
Тихо Браге — датский астроном эпохи Возрождения.

сы проводили эксперименты с линзами. К сожалению, — пишет далее Фантоли, — у меня не было возможности проверить эти утверждения, вызвавшие большой интерес как в Англии, так и в Италии. Но даже если Томас Диггес и проводил свои наблюдения до Галилея, остается неизменным тот факт, что его открытия оставались неизвестными в течение четырех веков, в то время как открытия Галилея внесли фундаментальный вклад в развитие научной мысли в Европе» [3].

Пьер Д'Эстуаль писал в своих «Записках» 18 ноября 1608 года: «...с помощью этого инструмента можно увидеть даже те звезды, которые обычно недоступны невооруженному глазу». Галилей узнал о сообщении Д'Эстуалья из письма Бадзуэра к Сарпи, и это способствовало возрастанию интереса ученого к новому инструменту. Что касается наблюдений и астрономических открытий Томаса Диггеса, сделанных за 30 лет до наблюдений Галилея, то ни сам Галилей, ни другие европейские ученые не имели в то время никакой возможности о них узнать [3].

Фантоли постоянно подчеркивает значение личности Галилея, в том числе как ученого, осознавшего значение многих разрозненных сообщений о наблюдениях неба с помощью первых телескопов и необходимость их систематизации.

Что касается самой проблемы «зашифрованного послания» (вербального или образного, как в случае с «белыми» звездами «Уранометрии»),



Козерог. Фрагменты титульного листа «Уранометрии» и карты со звездами π, ο, σ.



Памятник Тихо Браге и Иоганну Кеплеру. Скульптор Вратислав Карел Новак. Прага.

то такой способ сообщения информации совершенно обычен в натурфилософских произведениях того времени и в качестве защиты идеи направления нашего поиска. В дополнение к общеизвестному примеру зашифрованного письма Галилея о «тройственной природе» Сатурна, процитируем слова Отто Бенеша, писавшего, что «XVI — начало XVII в. знают множество научных трактатов, иллюстрированных аллегорическими картинами, условными символами и знаками. В этой прикладной области, не претендующей на эстетическую ценность, особенно заметна характерная для того времени дидактическая и прагматическая направленность. Титульные листы некоторых научных книг и алхимических трактатов приходится разгадывать, как ребус, составленный из множества сценок, фигур, предметов, элементов пейзажа. При этом реализм деталей и мастерство исполнения удивительны. Всеохватность тогдашнего мышления, умозрительность, стремление ощутить единство многообразия мира видны в этих титульных листах, перенасыщенных информацией, где большим количеством изображений суть «иероглифы», со скрытым содержанием, хотя изображены вполне реальные предметы, а иллюстрации — гравюры — очень высокого качества» [4].

В связи с этим тезисом Бенеша еще одним пунктом доказательства гипотезы об экспериментах с астрономической оптикой в кругу Браге, становится едва различимое дублирование звездного узора, состоящего из π, ο, и σ Козерога на его фигуре, украшающей нижнюю четверть титульного листа «Уранометрии». На его изображении наряду с детерминативными, служащими украшениями художественного образа звездами, также выгравированы эти объекты — вновь удостоенные особого внимания, причем увидеть их здесь случайно практически невозможно по причине миниатюрности композиции.

Сам Козерог, величественно спокойный, с закрытыми глазами, венчающий панораму города

(как бы восседающий на ней), безусловно символизирует конкретную личность — вероятнее всего, самого Браге, одного из величайших астрономов и астрологов своего времени, рожденного под этим знаком 14 декабря (разумеется, по старому стилю) 1546 г.

Всеобщее признание его заслуг безусловно могло воплотиться в этой художественной форме. Изображения фигур зодиакальных созвездий часто становились своеобразными «тайными портретами», символами, эмблемами, как конкретных личностей, так и важных событий. Символ Козерога, к примеру, — это своеобразная эмблема начала правления флорентийского герцога Козимо I: «Как обычно, добродетели герцога Козимо олицетворялись аллегорическими статуями Постоянства, Силы, Мудрости, Справедливости, Великодушия, Умеренности, а сравнивался правитель с Октавианом Августом и традиционным флорентийским героем Геркулесом. Среди Эмблем часто повторялось изображение Козерога, под чьим знаком началось правление герцога, — Козерог был зодиакальным знаком и Октавиана Августа, и Карла V» [5].

Величественное спокойствие фигуры, ее подчеркнутая неподвижность, прикрытые глаза — все это напоминает произведения надгробной пластики. В таком ракурсе фрагмент титульного листа становится образной эпитафией на светлую кончину великого наблюдателя неба, астронома и астролога от всех жителей вольного Аугсбурга.

Гравирование звезд, созвездий и звездных карт считалось привилегией особого цеха. Учитывая значение иконографического канона, невозможно допустить, чтобы такие изображения отдельных объектов появились случайно. Так или иначе, на звездных картах «Уранометрии» перед нами возникает своеобразный перечень объектов (а подобные мини-каталоги достоверно известны из более поздних исследований), на которые обращено особое внимание. Информация об этом была передана необычными изображениями звезд будущим поколениям астрономов, с тем чтобы и они обратили на них свое внимание, продолжили изучение — и в итоге, быть может, с их помощью определили пределы видимого мира (Вселенной). ■

Литература

1. *Белый Ю.А.* Иоганн Кеплер. 1571—1630. М., 1971. С.126.
2. *Stillman D.* Galileo Studies. Ann Arbor, 1970; *Waard de Cornelius Jr.* L'invention du telescope. Bruxelles, 1907; *Ronan Colin A.* The origins of the reflecting telescope // *Journal of the British Astronomical Association* 1991. V.101. P.333—342; *Фантоли А.* Галилей. М., 1999. С.116.
3. *Andre D., Andre C.* Lunettes et Telescopes. Paris, 1935; *Vasco R.* Galilee et l'astronomie // *Galilee, Aspects de sa vie et de son oeuvre / S.Delorme.* Paris, 1968 / *Фантоли А.* Галилей. М., 1999. С.117.
4. *Бенеш О.* Искусство северного Возрождения. Его связь с современными духовными и интеллектуальными движениями. М., 1973. С.169.
5. *Остерман А.А.* Театрализация политической жизни Флоренции в период правления герцога Козимо I Медичи (1537—1574) // *Театр и театральность в культуре Возрождения.* М., 2005. С.52—64.



«Морская биология, геология, океанология — междисциплинарные исследования на морских стационарах»

www.wsbs-msu.ru

28 февраля—1 марта 2013 года

Международная научная конференция,
посвященная 75-летию
Беломорской биологической станции им. Н.А.Перцова
Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова

Ломоносовский проспект, д.27, корп.4
1-й учебный корпус МГУ им. М.В.Ломоносова,

Контакты:
wsbs75@gmail.com
+7 (815) 33-64-516

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

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

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

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

Подписано в печать 17.12.2012
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 869
Набрано и сверстано в редакции

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

www.ras.ru/publishing/nature.aspx

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.