

# ПРИРОДА

6 12



**В НОМЕРЕ:****3 Пухальский А.Л., Шмарина Г.В.**  
**Муковисцидоз: удар судьбы или послание Свыше?**

Детальное изучение генетики и клиники этого одного из самых распространенных наследственных заболеваний привело к огромным успехам в его лечении. Сегодня муковисцидоз из патологии раннего детского возраста постепенно превращается в болезнь взрослых.

**12 Шибяев В.П.**  
**Полимерные кентавры**

Среди различных направлений в науке о полимерах быстрее всего развивается связанное с дизайном, синтезом и изучением жидкокристаллических полимерных систем. Многофункциональные гребнеобразные и линейные ЖК-полимеры — яркий пример самоорганизованных «умных» материалов.

**25 Холодов В.Н.**  
**Геология и мифотворчество**

На рубеже двух столетий российская геология вступила в трудный период, в котором философские, религиозные и художественные взгляды некоторых авторов отодвигают на второй план факты и эмпирические обобщения.

**37 Иваницкий В.В., Марова И.М.**  
**Корольковая пеночка — маленький гений большого вокала**

Песня корольковой пеночки — одна из самых сложных в репертуарах пернатых. Эта крошечная птичка оперирует огромным фонетическим разнообразием, чрезвычайно сложным синтаксисом, обладает незаурядной памятью, в совершенстве владеет приемами импровизации и может исполнять бесконечное число вокальных произведений из довольно обширного набора трелей.

**45 Беззубов С.И., Долженко В.Д.**  
**Солнечные батареи, sensibilizированные красителем**

Новый класс солнечных батарей — dye-sensitized solar cells (DSC) — оригинальный пример искусственных фотосинтетических систем. При сравнимой эффективности такие батареи значительно дешевле классических кремниевых элементов.

**51 Стрелков П.П., Хайтов В.М., Католикова М.В.****Голубые ракушки**

Издавна считалось, что из трех видов мидий только мидия съедобная обитает во всех морях Северной Европы, лишь в Балтийском живет еще и тихоокеанская. Но оказалось, она проникла уже в Северное, Белое и Баренцево моря, и, похоже, в Белом море скрещивается с мидией съедобной.

**Научные сообщения****57 Ашимбаева Н.Т.**  
**Космическая линза работает в телескопе****Заметки и наблюдения****60 Свиточ А.А., Бадюкова Е.Н., Шейхи Б.**  
**Геологические загадки иранского побережья Каспия (60)****Комаров В.Н.**  
**Карстовые пещеры Чатыр-Дага (63)****67 Бурштейн Е.Ф.**  
**«Песочное золото» в России: путешествие Матвея Снегирева в 1790 году****74 Щербаков Р.Н.**  
**Эрвин Шрёдингер: яркая вспышка гения**  
К 125-летию со дня рождения великого ученого**Рецензии****83 Сурдин В.Г.**  
**Ради новых знаний**  
(на кн.: К.Тёрни. Кости, скалы и звезды: наука о том, когда что произошло)**85** **Новые книги****Встречи с забытым****86 Ананьева Н.Б., Доронин И.В.**  
**Незабытое имя в российской герпетологии**  
К 125-летию со дня рождения С.Ф.Царевского**В конце номера****93 Кузьмин А.В.**  
**Ранние каталоги двойных звезд**

## CONTENTS:

### 3 Pukhalsky A.L., Shmarina G.V. Mucoviscidosis: A Stroke of Bad Luck or Message from Above?

Detailed study of genetics and the clinical picture of this one of the most common hereditary diseases led to huge successes in its treatment. Now mucoviscidosis is gradually turns from early childhood disease to an adult one.

### 12 Shibaev V.P. Polymeric Centaurs

Amongst different branches of polymer science the most rapidly developing is the one associated with design, synthesis and study of liquid crystal polymer systems. Multifunctional comb-structured and linear LC-polymers are striking example of self-organizing «smart» materials.

### 25 Kholodov V.N. Geology and Creation of Myths

At the border of two centuries Russian geology entered a troubled time when philosophic, religious and aesthetic views of some authors trump facts and empirical generalisations.

### 37 Ivanitzky V.V., Marova I.M. Pallas's Warbler: A Tiny Genius of Big Vocals

A song of Pallas's Warbler is one of the most complex in repertoire of songbirds. This tiny bird operates a huge phonetic diversity, an extremely complex syntax, possesses outstanding memory, masters techniques of improvisation and can perform an infinite number of vocal works from a rather wide set of trills.

### 45 Bezzubov S.I., Dolzhenko V.D. Dye-Sensitized Photovoltaic Cells

A new type of photovoltaic cells, dye-sensitised solar cells, DSC, is an original example of artificial photosynthetic systems. Having a comparable efficiency, such solar cells are significantly cheaper than conventional silicon-based semiconductor photovoltaic elements.

### 51 Strelkov P.P., Khajtov V.M., Katolikova M.V. Blue Seashells

It had been considered for a long time that from the three species of blue mussels only one, *Mytilus edulis*, inhabits all seas of Northern Europe, and that only in Baltic lives another one, *Mytilus trossulus*. But it turns out that the latter already invaded also Northern, White and Barents seas and it seems to hybridizes with *Mytilus edulis* in White sea.

## Scientific Communications

### 57 Ashimbaeva N.T. Cosmic Lens Works in a Telescope

## Notes and Observations

### 60 Svitoch A.A., Badyukova E.N., Sheikhi B. Geologic Riddles of Iranian Caspian Seashores (60)

### Komarov V.N. Karst Caves of Chater-Dag (63)

### 67 Burshtein E.F. «Sand Gold» in Russia: Travel of Matvej Snegirev in 1790

### 74 Shcherbakov R.N. Erwin Schrödinger: A Bright Flare of Genius To 125th Anniversary of a Great Scientist

## Book Reviews

### 83 Surdin V.G. In Search of a New Knowledge (on a book: C.Turney. Bones, Rocks and Stars: A Science of When Things Happened)

## 84 New Books

## Encounters with Forgotten

### 86 Anan'eva N.B., Doronin I.V. Remembered Name in Russian Herpetology To 125th Anniversary of S.F.Tzarevsky

## End of the Issue

### 93 Kus'min A.V. Early Catalogs of Binaries

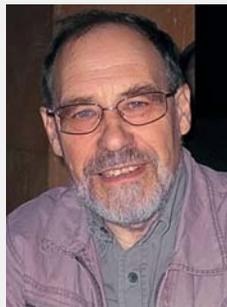
# Муковисцидоз: удар судьбы или послание Свыше?

А.Л.Пухальский, Г.В.Шмарина

Посвящается доктору  
Жану Фейжельсону

Ребенок еще не родился, он даже не зачат, но роковая комбинация генов может обречь его на страдания и смерть. Наследственные болезни — необозримое поле деятельности для разнообразных мистиков и шарлатанов. Чего только ни говорили о наследственной патологии: «Божья кара», «сглаз», «родовое проклятие». Узнав о наличии наследственного заболевания у своего ребенка, люди ощущают бессилие. Они понимают, что нет никакой возможности изменить генотип каждой из многих миллионов клеток организма. Более того, они знают, что болезнь, если даже она не проявилась у других членов семьи, с высокой степенью вероятности может быть передана следующим поколениям.

Наш друг и коллега замечательный французский педиатр Жан Фейжельсон (Jean Feigelson), участник Сопrotивления, герой войны, кавалер ордена Почетного легиона и многих боевых наград, отдавший более 50 лет своей медицинской деятельности лечению больных муковисцидозом, всегда поражал окружающих своим неиссякаемым оптимизмом, которым умел заразить не только коллег-врачей, но и своих пациентов. Общение с ним вселяло убеждение, что битва не проиграна до тех пор, пока ты не признал себя побежденным, компенсаторные



**Александр Леонидович Пухальский**, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник Медико-генетического научного центра РАМН. Область научных интересов — иммунология, генетика, общая патология, наследственные болезни, горизонтальные связи между научными дисциплинами.



**Галина Васильевна Шмарина**, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник того же центра. Специалист в области генетики, иммунологии, теории воспаления, фармакологии.

возможности организма существенно больше, чем можно было предполагать ранее, а наука медленно, но неуклонно движется по пути прогресса.

## Взгляд генетика

*Градобоев. Сидоренко, покажи им, сколько у нас законов. Вон сколько законов! Это у меня только, а сколько их еще в других местах!*

А.Н.Островский «Горячее сердце». Действие III, явление 2

Муковисцидоз (кистозный фиброз) — типичное аутосомно-рецессивное заболевание; в переводе на обычный язык это означает, что больному не повезло и патологический (или мутантный) ген располагается в каждой из двух парных хромосом [1]. Его родители — также носители патологического гена, но этот «недостаток» компенсируется нормальным геном, расположенным в соседней гомологичной хромосоме, в результате чего признаков болезни у них не наблюдается. У такой родительской пары может родиться ребенок, совершенно нормальный не только с медицинской, но и с генетической



Доктор Жан Фейжельсон консультирует пациента.

кой точки зрения (25 шансов из 100), с 50-процентной вероятностью их дети будут клинически здоровы, но, так же, как и родители, окажутся носителями патологического гена; и, наконец, существует 25-процентная вероятность рождения больного ребенка (рис.1). Впрочем, к такого рода расчетам следует относиться с большой осторожностью. Представьте себе, что вы купили 20 лотерейных билетов, а ваш сосед только два, однако может так случиться, что оба его билета выигрывают, а среди ваших двадцати выигранных билетов не окажется вообще. Нам встречались случаи, когда в семье из трех детей все трое были больны муковисцидозом. Естественно, вполне возможна и обратная ситуация.

Полагают, что муковисцидоз появился на Европейском континенте примерно за 3000 лет до нашей эры в связи с миграциями населения и изменениями условий питания, хотя сама мутация возникла гораздо раньше [2, 3]. Предположения

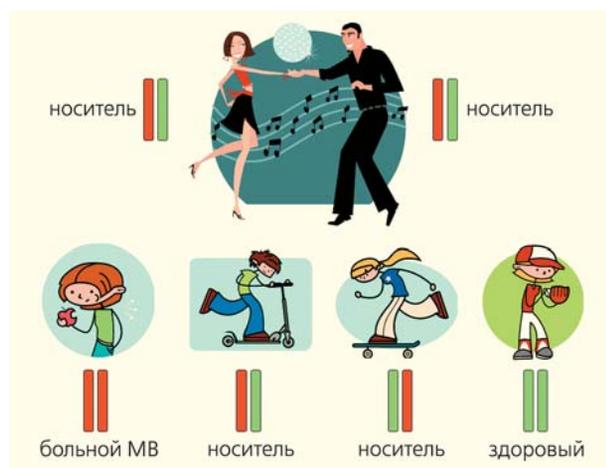


Рис.1. У носителей патологического гена *CFTR* могут родиться как больные, так и здоровые дети.

о том, что муковисцидоз представляет собой самостоятельное заболевание стали появляться достаточно давно. Еще в XVIII в. одна из медицинских статей, вышедшая в Швейцарии на немецком языке, была озаглавлена так: «Горе ребенку, если при поцелуе в бровь ощущается соленый вкус, потому как он несет в себе проклятие и скоро умрет». Нет никаких сомнений, что речь в ней идет именно о муковисцидозе. Окончательно муковисцидоз был идентифицирован как самостоятельная болезнь в 1938 г. благодаря работе американского патолога и врача Дороти Андерсен (Dorothy Andersen), которая не только детально описала клинику и патологическую анатомию этого заболевания, но и убедительно доказала его наследственную природу. Однако мутантный ген муковисцидоза был обнаружен лишь в 1988 г., полвека спустя после классического исследования Андерсен. Сегодня мы знаем, что этот ген ответственен за формирование ионного канала, встроенного в мембрану эпителиальных клеток. Для его обозначения используют английскую аббревиатуру *CFTR* (cystic fibrosis transmembrane conductance regulator) или реже русское сокращение *МВТР*. Сразу поясним, что в генетике названия отдельных генов принято давать курсивом, чтобы отличить их от названий продуктов (белков) этих генов, которые даются обычным шрифтом.

Белок *CFTR*, функция которого — трансмембранный транспорт ионов хлора, представляет собой почти симметричную структуру из трех доменов. Первый и второй домены (так называемые нуклеотид-связанные домены), которые, собственно, и образуют ионный канал, состоят каждый из шести трансмембранных участков. Последние ассоциированы с платформой, имеющей участок связывания АТФ. Третий домен выполняет функцию регулятора (R-домен). Он способен, подобно пробке, перекрывать канал, для открытия которого нужна энергия. Ее канал получает путем присоединения АТФ. В результате происходит фосфорилирование R-домена, и канал открывается (рис.2). Поток ионов хлора устремляется по электрохимическому градиенту и не требует привлечения дополнительной энергии, что характерно не только для *CFTR*, но и для других ионных каналов. Таким образом, направление движения ионов зависит от разницы их концентраций внутри клетки и во внеклеточном пространстве.

Сегодня известно более 1500 разнообразных мутаций в гене *CFTR*. Большинство их встречается достаточно редко, однако есть несколько мутаций, характерных для Западной Европы и России. Из них чаще всего обнаруживается мутация F508del, или, как ее обычно обозначают в клинических работах, ΔF508. Большинство мутаций приводит к нарушению структуры нуклеотид-связанных и регуляторного доменов [4]. Мутации обнаружены как в кодирующих, так и в регуляторных участках гена *CFTR* и подробно изучены. Хорошо

известно, в каких случаях имеет место точечная замена одного нуклеотида на другой, в результате чего измененный кодон начинает кодировать другую аминокислоту (миссенс мутация). Известны мутации с потерей (делецией) или вставкой (инсерцией) дополнительного нуклеотида со сдвигом рамки считывания или без такового, а также так называемые нонсенс мутации (точечная мутация, ведущая к появлению стоп-кодона, в результате чего происходит преждевременная остановка синтеза кодируемого белка). В зависимости от того, какое влияние оказывает данная мутация на функцию белка CFTR, ее относят к тому или иному классу и считают «тяжелой» или «мягкой». Так, мутации, приводящие к нарушениям синтеза белка, его транспорта, а также регуляции функции хлорного канала, относят к тяжелым мутациям. Мутации же, в результате которых нарушается проводимость канала, снижается количество или стабильность встроенных в клеточную мембрану каналов, считают мягкими (рис.3). Несмотря на большое количество работ, посвященных связи между видом мутации и клиническим течением муковисцидоза, их практическая ценность невелика. Попытки связать тяжесть течения заболевания с отдельными мутациями не дали удовлетворительных результатов, хотя и признать их совершенно безуспешными также нельзя [5]. Сегодня обнаружение мутаций гена *CFTR* имеет главным образом диагностическое значение, особенно в случае смазанной клинической картины.

Хотя роль нарушения трансмембранного транспорта хлора в патогенезе муковисцидоза не вызывает сомнений, этот дефект не может объяснить всего многообразия клинической картины заболевания. Клиницистам хорошо известен факт, что у носителей одной и той же мутации, даже если она находится в гомозиготном состоянии, болезнь может протекать по-разному. Из этого легко сделать вывод, что существуют другие,

в том числе и генетические, механизмы, определяющие индивидуальные особенности течения муковисцидоза, изучение которых важно не только для создания более полной картины патогенеза, но и для разработки новых подходов к терапии. Большой интерес в этом отношении представляет обширное семейство генов *TNF*, названное так по имени белка (фактор некроза опухоли; tumor necrosis factor), продукта одного из генов этого семейства. Его гены расположены тандемом и обнаруживаются у всех челюстных позвоночных, начиная с костистых рыб, т.е. их возраст не менее 450 млн лет. Продукты этих генов составляют древнейшую систему защиты, которая продолжает играть важную роль в регуляции реакции воспаления у человека. По-видимому, такое кластерное расположение генов воспаления служит ценным эволюционным приобретением. Гены *TNF* представлены у человека в виде аллельных вариантов, и их различное сочетание может быть причиной высокой или низкой продукции факторов, усиливающих воспаление (например,  $TNF-\alpha$ ). Было показано, что больные муковисцидозом с генотипом высокой продукции  $TNF-\alpha$  характеризуются агрессивной воспалительной реакцией, сопровождающейся ранним и быстрым истощением гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. Возникающая при этом недостаточность гормонов стресса существенно повышает вероятность развития таких тяжелых осложнений муковисцидоза, как астма и остеопороз [6].

Кроме того, есть основания полагать, что частые эпизоды стресса, которым с детства подвергаются больные муковисцидозом, могут приводить к нарушению метилирования промоторов генов глюкокортикоидных рецепторов в гипоталамусе. Такие ненаследуемые изменения генома, связанные с особенностями индивидуальной жизни человека, называют эпигенетическими изменениями. Именно в результате таких перестроек генома

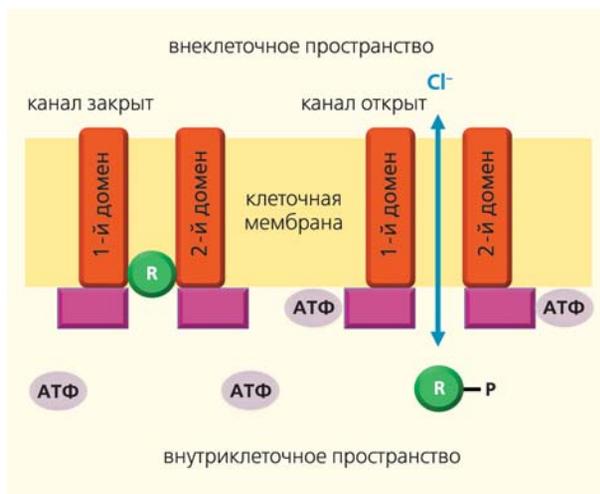


Рис.2. Схема строения ионного канала CFTR.

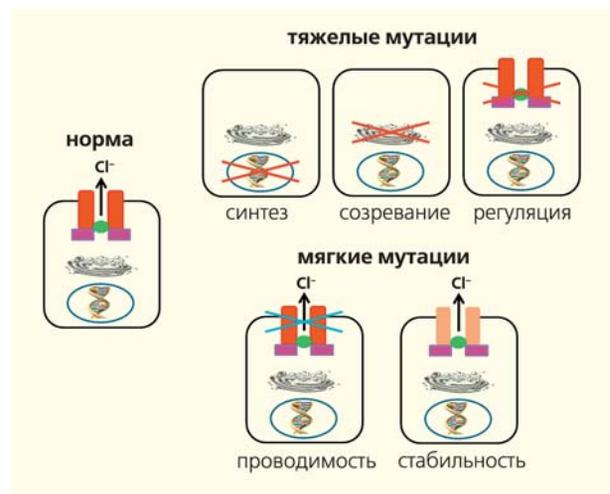


Рис.3. Виды мутаций при муковисцидозе.

соматических клеток однойцевые близнецы в течение индивидуальной жизни могут постепенно утрачивать сходство, делавшее их в детстве порой практически неразличимыми. Эта область пока плохо разработана, однако может представить широкое поле для исследований.

Еще одним направлением может быть изучение взаимоотношений макроорганизма и патогенной флоры, заселяющей дыхательные пути больного муковисцидозом. Известно, что некоторые штаммы синегнойных бактерий образуют алгинатную пленку. Это создает ситуацию, напоминающую динамическое равновесие между слизистой оболочкой и микробиотой в толстом кишечнике. Изучение механизмов такого равновесия и условий его нарушения может проводиться в том числе и методами метагеномики, т.е. с помощью анализа генома микробных популяций, заселяющих дыхательные пути больного.

## Взгляд патолога

*Опять скажу: никто не обнимет необъятного!*  
Козьма Прутков. «Мысли и афоризмы»

Муковисцидоз — одно из наиболее распространенных наследственных заболеваний, часто имеющее неблагоприятный прогноз. Болезнь, прежде всего, характеризуется повышенной продукцией вязкого бронхиального секрета, частыми легочными инфекциями и обструкцией дыхательных путей. По мере прогрессирования легочной болезни проходимость бронхов ухудшается, образуются участки ателектазов (спадание ткани легкого), развивается эмфизема, постепенно разрушается паренхима легких, существенно снижается насыщение крови кислородом, и больной рискует погибнуть от легочно-сердечной недостаточности. В финальной стадии заболевания пересадка комплекса сердце-легкие остается для больного единственной надеждой. Помимо бронхолегочной системы у большинства больных муковисцидозом поражается поджелудочная железа. При этом у многих страдает экскреция панкреатических ферментов, в связи с чем нарушается всасывание жиров и белков. В результате больные отстают в росте и подвержены гипотрофии. Продукция инсулина тоже может быть нарушена, что ведет к развитию диабета. К частым осложнениям муковисцидоза относят остеопороз, а также жировой гепатоз с переходом в цирроз. Особо следует сказать о нарушении функции репродуктивной системы (главным образом у больных мужского пола), которое вызвано врожденным отсутствием, атрофией или закупоркой семенных канатиков. Эта аномалия не несет угрозы жизни и не связана с типом мутации. Известны случаи, когда при наличии мягкой мутации диагноз муковисцидоз ставился случайно, когда больной обследовался по поводу бесплодия.

Как уже было отмечено в предыдущем разделе, нарушение функций ионного канала, образуемого белком CFTR, не может в полной мере объяснить все многообразие симптомов, наблюдаемых у больных муковисцидозом. Видимо, то, что мы называем первичным генетическим дефектом (мутация в гене *CFTR*), служит причиной не только затруднения ионного транспорта через клеточную мембрану, но может также проявляться в виде разнообразных нарушений, и на клеточном, и на системном уровне.

Так, если мутация гена *CFTR* не препятствует собственно синтезу, но образовавшийся белок имеет какой-либо серьезный дефект, его созревание в аппарате Гольджи и транслокация в клеточную мембрану будут нарушены. В результате дефектный белок будет накапливаться в клетке. Чтобы предотвратить опасные последствия такого процесса, включаются разнообразные защитные механизмы. В ядро начинают поступать сигналы о необходимости замедлить белковый синтез, причем замедляется синтез не только патологического белка, но и всех остальных клеточных белков [7]. Происходит активация NFκB, универсального провоспалительного транскрипционного фактора [8]. Одновременно молекулы дефектного белка метятся как ненужные путем присоединения к ним небольшого сигнального белка убиквитина. Такой помеченный белок связывается с протеасомой, функция которой состоит в протеолизической деградации (расщеплении) ненужных или поврежденных белков до коротких пептидов. Отсутствие функционирующего CFTR на клеточной поверхности ведет к активации внутриклеточного сигнального пути, в котором цАМФ (циклический аденозин монофосфат) играет роль главного посредника. Эта активация, не связанная с сигналом от поверхностных рецепторов, ведет к накоплению в клетке холестерина и, что важно, к уходу с клеточной поверхности β<sub>2</sub>-адренорецепторов (рис.4) [9].

Таким образом, в значительной части случаев муковисцидоз можно рассматривать как один из вариантов болезней накопления, к которым относятся также амилоидоз, лизосомные болезни, болезнь Альцгеймера и др. Следует отметить, что мутации, вследствие которых синтез CFTR полностью отсутствует, следует считать более благоприятными, поскольку у этих больных симптомы болезни накопления нарастают медленнее. К сожалению, такие мутации встречаются существенно реже, чем, например, широко распространенная мутация ΔF508, при которой синтезируется дефектный белок.

Следует иметь в виду, что последствия накопления патологического белка не исчерпываются описанными выше внутриклеточными событиями. Перегруженная дефектным белком эпителиальная клетка в результате активации NFκB начинает продуцировать провоспалительные цитоки-

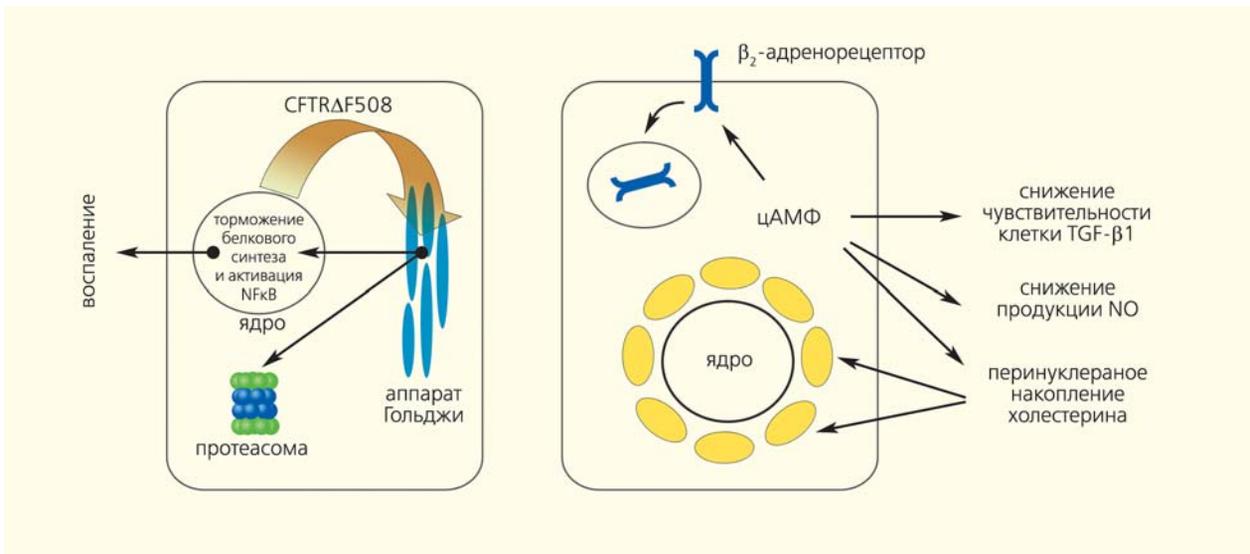


Рис.4. Проявление признаков болезни накопления в клетках больных муковисцидозом.

ны, которые, с одной стороны, могут вызвать гибель окружающих клеток, а с другой — служат факторами, привлекающими клетки воспаления (нейтрофилы и макрофаги). Таким образом, реакция воспаления в эпителии при муковисцидозе есть прямое следствие первичного генетического дефекта, а не результат проникновения инфекции. Именно из-за такого асептического воспаления происходит закупорка протоков поджелудочной железы, желчных ходов печени и семенных канатиков. Потеря клетками бронхиального эпителия β<sub>2</sub>-адренорецепторов, о чем было упомянуто выше, повышает готовность к бронхоспазму, что неблагоприятно сказывается на течении легочной болезни.

Повторяющиеся эпизоды обострения легочной инфекции, характерные для больных муковисцидозом, накладывают свой отпечаток на способность организма адаптироваться к условиям среды, т.е., иными словами, оказывают отрицательное воздействие на взаимоотношения организма с окружающим миром. Действительно, способность быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям окружающей среды — одно из основополагающих свойств живых организмов, от вирусов и бактерий до человеческого сообщества. Если признать, что жизнь есть способность к адаптации, то ее потеря неизбежно ведет к смерти. Эволюция жизни на Земле сопровождалась постоянным совершенствованием адаптационных систем, при этом древние механизмы не исчезали, а оказывались включенными в сложный комплекс; у млекопитающих он представлен в виде триады, образованной центральной нервной, иммунной и эндокринной системами. Эти системы надежно защищают организм от воздействий стресса, химических и инфекционных агентов до

тех пор, пока их деятельность достаточно хорошо сбалансирована. Однако при гиперактивации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси в связи с постоянными обострениями легочной инфекции равновесие нарушается. Высвобождение большого количества гормонов стресса на фоне антигенной нагрузки приводит к накоплению регуляторных T-клеток (T<sub>рег</sub>), обладающих мощным иммуносупрессивным потенциалом (рис.5) [10]. Это способствует колонизации слизистой бронхов синегнойной инфекцией (ее наиболее типичный представитель — *Pseudomonas aeruginosa*), которая при нормальной работе механизмов иммунной защиты никогда не поселяется в дыхательных путях. Следует отметить, что одна из важнейших функций T<sub>рег</sub> (раньше их называли T-клетками супрессорами) — поддержание так называемой периферической толерантности, ко-

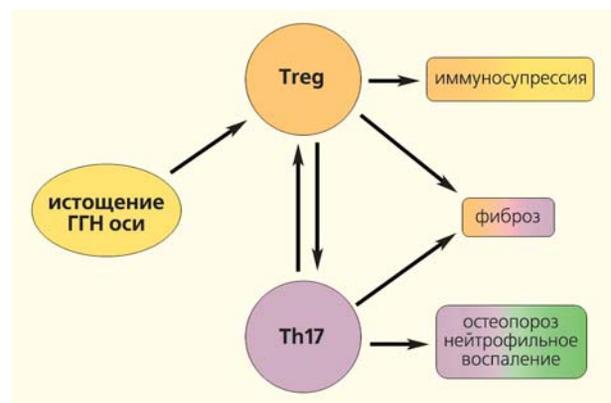


Рис.5. Последствия истощения гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГН) оси и избыточного накопления регуляторных T-клеток (T<sub>рег</sub>) у больных муковисцидозом.

торая включает невосприимчивость иммунной системы к пищевым антигенам, аллергенам, а также антигенам бактерий, населяющих толстый кишечник. Избыточное количество  $T_{reg}$ , особенно в слизистой оболочке бронхов, приводит к тому, что микробы *P. aeruginosa*, которые подобно бактериям-сапрофитам кишечной микробиоты образуют мукополисахаридную пленку, оказываются под ее «защитой» так же, как это имеет место в толстом кишечнике. Избыток  $T_{reg}$  служит одним из факторов, усиливающих фиброз. Эта клеточная субпопуляция обладает свойством пластичности, т.е. при определенных условиях способна передифференцироваться в клетки типа Th17, которые также усиливают фиброз и, кроме того, способствуют развитию остеопороза. У больных муковисцидозом часто возникают такие осложнения, как цирроз печени и диабет, которые не в последнюю очередь есть следствие фибротических процессов, а также длительно протекающих местных воспалительных реакций.

## Взгляд врача

*Цель — ничто, движение — все.*

Эдуард Бернштейн

*Цель — это путь во времени.*

Карл Ясперс

Об огромных успехах, достигнутых в лечении муковисцидоза прежде всего свидетельствует тот факт, что из патологии раннего детского возраста она постепенно превращается в заболевание старшего возраста и болезнь взрослых. Эти несомненные успехи связаны с разработкой методов диагностики, стандартизацией терапии, а также с созданием сети специализированных центров, предназначенных для постоянного наблюдения и лечения. В России лечение больных муковисцидозом осуществляется в соответствии с протоколом Европейской ассоциации муковисцидоза, включающим обязательные компоненты — муколитики (средства, разжижающие мокроту), мультивитамины, высококалорийную диету и микросферические ферменты (ферменты поджелудочной железы в высоких дозах). При обострении бронхолегочного процесса применяют антибиотики, в том числе последние поколения цефалоспоринов и аминогликозиды. К первоочередным целям терапии следует отнести эвакуацию вязкой мокроты (помимо муколитиков используют дыхательные упражнения, лечебную гимнастику и массаж); заместительную ферментную терапию, которая вместе с богатой высококалорийной диетой позволяет улучшить показатели физического развития, а также стимулировать механизмы неспецифической защиты; и, наконец, борьбу с инфекцией. Такой подход, дополненный своевременным лечением возникающих осложнений, позволил добиться ощутимых результатов, касаю-

щихся как продолжительности, так и качества жизни больных. Однако данные последних лет свидетельствуют о замедлении темпов роста средней ожидаемой продолжительности жизни больных муковисцидозом. В этом нет ничего удивительного, поскольку по мере увеличения продолжительности жизни возникают новые проблемы, для решения которых необходима разработка новых подходов, а также новых средств диагностики и лечения. Это требует не только времени, но и координации усилий специалистов разного профиля.

Выразительный пример такого нового вызова — развитие метаболического синдрома. До середины 80-х годов прошлого века больные муковисцидозом были вынуждены придерживаться диеты с низким содержанием жира. Но после изобретения кислотоустойчивых микросферических ферментов ситуация изменилась. Большинство пациентов получает заместительную терапию и достигает адекватного нутритивного статуса, соблюдая диету с высоким содержанием жиров и углеводов. Однако высококалорийная диета, столь необходимая для нормального развития детского организма, может стать причиной метаболического синдрома [11]. Действительно, адекватная энзимотерапия способствует всасыванию жиров. В результате концентрации полиненасыщенных жирных кислот, липопротеинов и холестерина в крови существенно повышаются. В норме излишки жиров запасаются в жировых депо, прежде всего в подкожной жировой клетчатке. Но у больных муковисцидозом механизмы запаса жира могут быть нарушены. Это связано с частыми обострениями бронхолегочного процесса, сопровождаемыми гипоксией и системным повышением концентрации провоспалительных цитокинов. В результате адипоциты испытывают энергетический голод и не могут нормально запастись жиром. Кроме того, стабильно высокий TGF- $\beta$ , обнаруживаемый в плазме больных, нарушает дифференцировку адипоцитов из мезенхимальных предшественников, и жир начинает откладываться не в подкожных депо, а во внутренних органах — печени, поджелудочной железе, сердце, мышцах (рис.6).

Итак, после того как легочная инфекция и последствия ферментативной недостаточности перестали быть основной причиной ранней смертности, на первый план вышли новые проблемы, связанные с истощением адаптационных систем, прогрессированием болезни накопления и метаболическим синдромом. Как уже говорилось, вторичные эпизоды обострения легочной инфекции у больных муковисцидозом приводят к истощению гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, вследствие чего усиливаются реакции воспаления. Когда мы говорим о чрезмерном воспалительном ответе, характерном для таких больных, то имеем в виду не только воспалительную

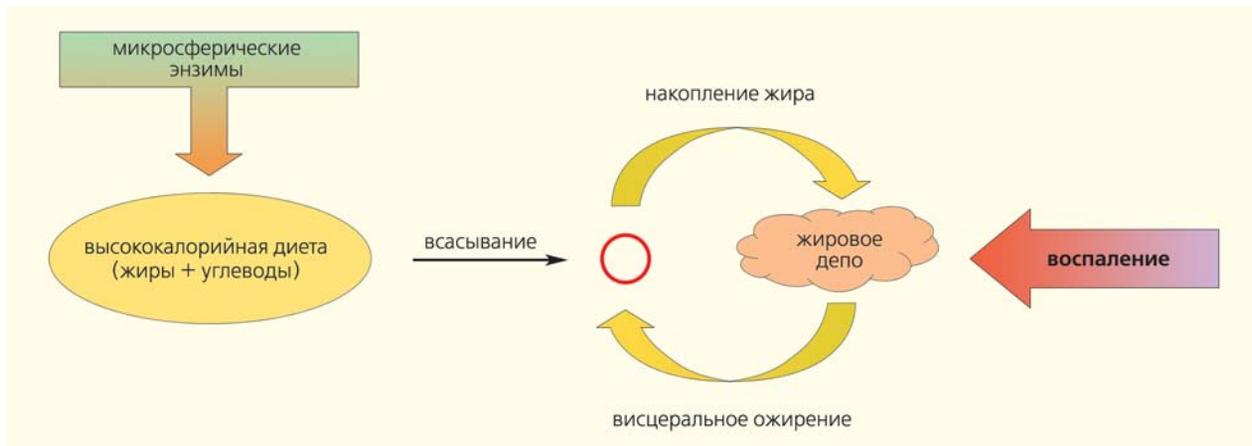


Рис.6. Механизм развития висцерального ожирения при муковисцидозе.

реакцию в ответ на внедрение инфекции, но и провоспалительный фенотип дендритных клеток (гетерогенной популяции клеток костно-мозгового происхождения, способных к фагоцитозу и презентации антигенов Т-клеткам), инфильтрирующих жировую или железистую ткань. В связи с этим противовоспалительная терапия приобретает при муковисцидозе особое значение, хотя до сих пор не включена в обязательный протокол ни в нашей стране, ни за рубежом.

Обычно в качестве противовоспалительных препаратов применяются кортикостероиды, нестероидные препараты (ибупрофен или нимесулид) и макролидные антибиотики (азитромицин или кларитромицин) [12]. Нестероидные противовоспалительные препараты оказывают лишь симптоматическое действие и не свободны от побочных эффектов. При лечении макролидными антибиотиками показатели функций внешнего дыхания улучшались. Применение кортикостероидов при муковисцидозе эффективно, но их длительное использование сопряжено с выраженным побочным эффектом. В то же время частота осложнений от лечения глюкокортикоидами прямо зависит от применяемой дозы и продолжительности лечения. У больных, получающих преднизолон в течение длительного времени, можно ожидать эндокринные, офтальмологические, психоневрологические и гастроинтестинальные нарушения, а также осложнения со стороны сердечно-сосудистой, мочевыводящей и костно-мышечной систем. В то же время у пациентов, получавших преднизолон в форме альтернирующего курса (прием через день очень маленькой дозы преднизолона), побочных осложнений не наблюдали. Известно, что при длительном применении глюкокортикоидов существует опасность того, что больной не сможет прекратить прием препарата без риска существенного ухудшения своего состояния. Системный прием кортикостероидов в виде альтернирующего курса свободен от этого недостатка. Так,

пациенты, которым назначили альтернирующий курс преднизолона в возрасте моложе пяти лет, в разное время прекратили его прием без последующего ухудшения функции легких (рис.7). Лечение низкими дозами преднизолона в форме длительного альтернирующего курса (некоторые больные получали такое лечение в течение семи лет и более) при истощении адаптационных систем организма играет роль заместительной терапии, которая, помимо прямого противовоспалительного эффекта, предотвращает избыточное накопление  $T_{reg}$  [13]. Противовоспалительная терапия не только благотворно сказывается на течении легочной болезни, но и способна предотвра-

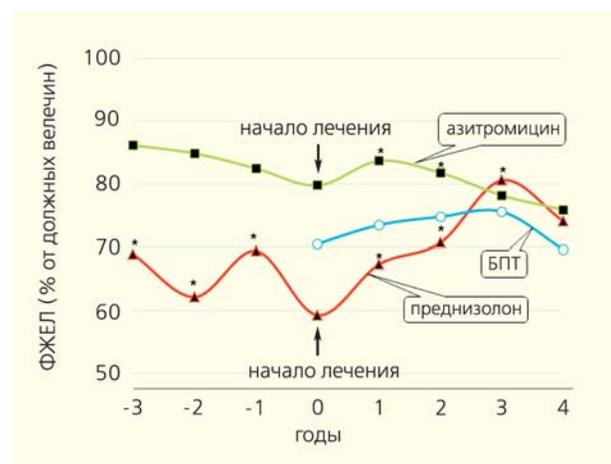


Рис.7. Влияние противовоспалительной терапии на изменение функциональной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) у больных муковисцидозом. По оси абсцисс: отрицательные величины — годы до начала противовоспалительной терапии; положительные — годы после назначения противовоспалительных препаратов; БПТ — больные без противовоспалительной терапии (группа сравнения). \* $p < 0.05$  по сравнению с точкой «начало лечения» (парный t-тест Стьюдента).

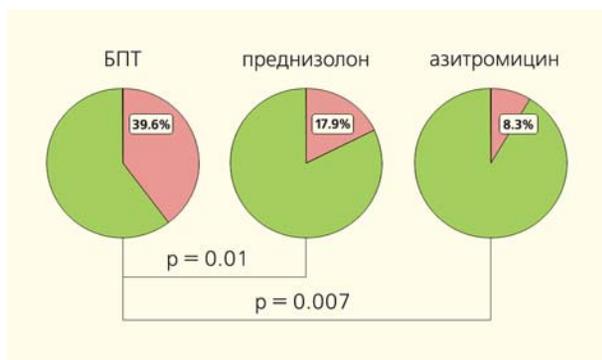


Рис.8. Влияние противовоспалительной терапии на частоту развития цирроза печени у больных муковисцидозом. Зеленый сектор — больные с нормальной функцией печени; коричневый — больные с признаками цирроза; показатели значимости вычислялись по отношению к группе больных без противовоспалительной терапии (БПТ).

тить такое тяжелое осложнение, как цирроз печени (рис.8). Заболевание печени, характерное для многих больных муковисцидозом, есть прямое следствие метаболического синдрома и связано с накоплением в паренхиме триглицеридов и липопротеинов низкой плотности. Это привлекает макрофаги, которые активируются по классическому пути (так называемые M1-макрофаги — продуценты разнообразных факторов воспаления). В результате в печени возникают множественные очаги воспаления, и паренхима печени постепенно замещается соединительной тканью. Продолжительная противовоспалительная терапия малыми дозами кортикостероидов или макролидным антибиотиком азитромицином не только уменьшает продукцию факторов воспаления, но и стимулирует дифференцировку макрофагов по альтернативному пути, в результате чего макрофаги приобретают фенотип M2 (как известно, они способствуют заживлению ран и регенерации).

## Взгляд в будущее

*Горе вам, что строите гробницы про-  
рокам, которых избил отцы ваши.*

Лк. 11:47

*Наша жизнь полна ожиданий, которые  
мы, как правило, осознаем только тог-  
да, когда они не осуществляются.*

Бертран Рассел.

«Человеческое познание:  
его сферы и границы»

Природа постоянно посылает нам исполненные глубокого смысла сигналы, которые мы, как нерадивые ученики, занятые на уроке посторонними мыслями, часто пропускаем мимо ушей. Но все-таки порой Великому Наставнику удается достучаться до нашего сознания, и мы не только ставим

перед собой осмысленные вопросы, но и пытаемся ответить на них в меру имеющихся в нашем распоряжении возможностей.

Например, вопрос о том, почему носительство мутантного гена *CFTR* получило такое широкое распространение в европейской популяции (порядка 2%), имеет не только академическое значение. Сегодня становится очевидным, что носители одного мутантного аллеля гена *CFTR* (при условии, что второй нормальный) имели селективные преимущества перед другими членами популяции. В частности, у них легче протекало заболевание холерой и сыпным тифом, а также была более высокая устойчивость к туберкулезу. Эти данные послужили теоретической предпосылкой для разработки лекарственного препарата, способного селективно блокировать хлорный канал, образованный белком *CFTR* в эпителии тонкой кишки. Ожидается, что препарат будет эффективен при лечении холеры и холероподобных состояний, характеризующихся неконтролируемой потерей хлора через стенку тонкой кишки.

Хотя для современного человека преимущества, связанные с носительством мутантного аллеля *CFTR*, весьма сомнительны, в целом такое природное явление, как муковисцидоз, открывает перспективы для формирования новых взглядов на патологию. Мы уже говорили о том, что течение муковисцидоза у длительно болеющих пациентов определяется такие факторы, как истощение гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, метаболический синдром и накопление в тканях патологических продуктов метаболизма (болезнь накопления). Абсолютно те же процессы протекают в организме в процессе старения. Такие патологические изменения, как фиброз и жировое перерождение внутренних органов, остеопороз и диабет, вовсе не служат характерными признаками муковисцидоза. Подобные изменения рано или поздно возникают у большинства людей, даже у тех, кто в течение жизни не страдал какой-либо хронической патологией. Значит, муковисцидоз можно рассматривать не только как природную модель ускоренного старения, но и как уникальный полигон для разработки новых подходов, одинаково приемлемых для лечения больных муковисцидозом и терапии патологических состояний, обусловленных преклонным возрастом [14, 15].

Не следует забывать, что будущее создается сегодня. Каким оно окажется завтра утром, в значительной мере зависит от того, как мы его смоделируем у себя в голове нынче вечером. Если при этом будут допущены системные ошибки, мы рискуем потерять инициативу и попасть в своеобразный цугцванг. В случае с муковисцидозом это означает, что направление исследований нам будут диктовать не интересы больного, а сиюминутная мода, ложные авторитеты и вездесущая конъюнктура. Типичным примером может быть не приведшая ни к каким реальным результатам, но широко

разрекламированная программа генотерапии муковисцидоза. При разработке этой программы были допущены сразу две системные ошибки. Первая состояла в том, что не была детально проработана методология и в достаточной мере учтены возможные риски, а, главное, не был дан четкий ответ на вопрос, какие преимущества получит больной, подвергшийся такого рода вмешательству. Вторая и, возможно, основная ошибка заключается в общем подходе к муковисцидозу как к некоей «необычной» болезни, лечение которой требует разработки каких-то совершенно особых методов терапии, способных радикально повлиять на течение патологического процесса. Подобная точка зрения не только ошибочна, но и контрпродуктивна. Существует очень немного заболева-

ний, которые современная медицина способна полностью излечить, даже в перспективе. Тем не менее, при адекватной терапии многие хронические больные сохраняют нормальную трудоспособность и живут неограниченно долго. Это в одинаковой мере справедливо как для наследственных, так и ненаследственных болезней, тем более что вклад генетических факторов в развитие последних может быть достаточно велик. Действительно, уже сегодня прогноз при муковисцидозе существенно лучше, чем при многих других «негенетических» болезнях, и можно с высокой степенью вероятности утверждать, что продолжительность и качество жизни этих больных в ближайшем десятилетии существенно превзойдут показатели сегодняшнего дня. ■

**Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 10-04-01342а.**

## Литература

1. Гинтер Е.К., Капранов Н.И., Петрова Н.В., Каширская Н.Ю. Муковисцидоз. Достижения и проблемы на современном этапе // X Юбилейный Национальный конгресс «Муковисцидоз у детей и взрослых». Ярославль, 2011. С.9—26.
2. Bush R. On the history of cystic fibrosis // Acta Univ. Carol. Med. (Praha). 1990. V.36. P.13—15.
3. Bertranpetit J., Calafell F. Genetic and geographic variability in cystic fibrosis: evolutionary considerations // Ciba Foundation Symp. 1996. V.197. P.97—114.
4. Southern K.W. ΔF508 in cystic fibrosis: willing but not able // Arch. Dis. Childhood. 1997. V.76. P.278—282.
5. Loubiures Y., Grenet D., Simon-Bouy B. et al. Association between genetically determined pancreatic status and lung disease in adult cystic fibrosis patients // CHEST. 2002. V.121. P.73—80.
6. Shmarina G., Pukhalsky A., Kapranov N., Aliosbkin V. Genetic polymorphism in *TNF* genes and tuberculosis in cystic fibrosis patients // Eur. Respir. J. 2011. V.38. Suppl.55. P.58s.
7. Ribeiro C.M., Boucher R.C. Role of endoplasmic reticulum stress in cystic fibrosis-related airway inflammatory responses // Proc. Am. Thorac. Soc. 2010. V.7. P.387—394.
8. Hunter M.J., Trebarne K.J., Winter A.K. et al. Expression of wild-type CFTR suppresses NF-kappaB-driven inflammatory signaling // PLoS One. 2010. V.14. Pe11598.
9. Sharma R.K., Jeffery P.K. Airway beta-adrenoceptor number in cystic fibrosis and asthma // Clin. Sci. (Lond.). 1990. V.78. P.409—417.
10. Пухальский А.Л., Шмарина Г.В., Алешкин В.А. Регуляторные Т-клетки: современные подходы к оптимизации их численности // Вестн. РАМН. 2011. №8. С.24—33.
11. Shmarina G.V., Pukhalsky A.L., Kokarotseva S.N. et al. Improvement nutrient absorption may enhance systemic oxidative stress in cystic fibrosis patients // Med. Inflamm. 2001. V.10. P.61—67.
12. Pukhalsky A.L., Shmarina G.V., Kapranov N.I. et al. Anti-inflammatory and immunomodulating effects of clarithromycin in patients with cystic fibrosis lung disease // Med. Inflamm. 2004. V.13. P.111—117.
13. Pukhalsky A., Shmarina G., Kasbirskaya N. et al. Relationship between anti-inflammatory therapy and hepatobiliary abnormalities in cystic fibrosis patients // Multidisciplinary Respiratory Medicine. 2009. V.4. P.248—253.
14. Goodman B.E., Percy W.H. CFTR in cystic fibrosis and cholera: from membrane transport to clinical practice // Adv. Physiol. Educ. 2005. V.29. P.75—82.
15. Lubinsky M. Hypothesis: Cystic fibrosis carrier geography reflects interactions of tuberculosis and hypertension with vitamin D deficiency, altitude and temperature // J. Cyst. Fibros. 2012. V.11. P.68—70.

# Полимерные кентавры

В.П.Шибаетв

В основе окружающего нас растительного и животного мира, да и самого человека лежат органические вещества — высокомолекулярные соединения, чаще всего называемые просто полимерами. Строго говоря, полимеры — это *высокомолекулярные соединения* (ВМС), т.е. соединения с большой молекулярной массой (от нескольких тысяч до многих миллионов), строение которых строго периодически. В состав подобных молекул, которые ввиду их огромных размеров называют уже макромолекулами, входят тысячи атомов, соединенных друг с другом валентными связями. Характерная особенность здесь — цепное строение макромолекул: в них многократно повторяются фрагменты одного или нескольких типов (мономерные звенья). Удобной моделью полимерной цепи может служить разорванное ожерелье, состоящее из отдельных бусинок. Если мономерные звенья имеют одинаковое химическое строение, полимеры называют *гомополимерами*, если звенья по составу или строению разнородны, — *сополимерами*.

## Наука о полимерах

Термин «полимер» (по-гречески *πολυ* — много; *μερος* — часть) впервые ввел в 1833 г. шведский ученый Йенс Берцелиус. Правда, смысл этого слова был несколько иным: тогда им обозначали плохорастворимые смолообразные продукты, образующиеся



**Валерий Петрович Шибаетв**, член-корреспондент РАН, доктор химических наук, профессор кафедры высокомолекулярных соединений химического факультета МГУ, лауреат Государственной премии СССР (1985), премии Президиума РАН им.В.А.Каргина (2002) и Ломоносовской премии МГУ (2006), заслуженный деятель науки РФ. Научные интересы связаны с синтезом, изучением структуры и физико-химических свойств термотропных жидкокристаллических полимеров.

в результате реакций полимеризации или поликонденсации. Эти соединения, как и некоторые природные полимеры вроде целлюлозы и натурального каучука, относили к коллоидным системам — считалось, что в растворах молекулы каким-то образом ассоциируют, т.е. соединяются друг с другом, образуя агрегаты больших размеров.

Наиболее серьезный удар по коллоидно-агрегативной точке зрения на высокомолекулярные соединения был нанесен работами 20–40-х годов XX в. выдающегося немецкого ученого Германа Штаудингера. Изучив огромное количество химических реакций полимеров, соотношения между их молекулярной массой и вязкостью растворов, он высказал предположение о цепочечном строении молекул полимеров, ввел термины «макромолекула» и «степень полимеризации», а также понятие о разветвленных и сшитых (трехмерных) полимерах. За фундаментальные исследования в области ВМС Штаудингер в 1953 г. был удостоен Нобелевской премии; его по праву называют отцом науки о полимерах. Выступая на церемонии вручения высокой награды, один из членов Нобелевского комитета сказал: «Хотя Штаудингер не принимал непосредственного участия в развитии полимерной промышленности, ее развитие было бы невозможно без его новаторских идей и инноваций».

К началу 50-х годов прошлого века как раз и следует отнести выделение науки о полимерах в самостоятельную область знания. Именно тогда было осознано важнейшее значение высокомолекулярных соединений для технического прогресса и жизнедеятельности биологических систем. Оказалось, что основу таких, казалось бы, совершенно разных природных и синтетических соединений, как

Часть II (часть I, «Жидкие кристаллы — кентавры природы», см. в первом номере журнала за текущий год).

полисахариды и белки, полиуглеводороды и поли- $\alpha$ -олефины, нуклеиновые кислоты и полипептиды, составляют длинные цепные макромолекулы, обладающие только им присущими физико-химическими свойствами. Свойства эти не просто повторяют качества отдельных звеньев — они обусловлены и самим макромолекулярным строением, которое вносит в их поведение общие закономерности. Перечислим вкратце лишь некоторые принципиальные достижения в изучении ВМС, сыгравшие поистине революционную роль в развитии фундаментальных и прикладных исследований:

- получение синтетического каучука путем каталитической полимеризации бутадиена (С.В.Лебедев, СССР, 1928—1932);

- разработка методов промышленного получения полиэфиров и полиамидов, известных под торговой маркой «нейлон» (Г.Карозерс, США, 1935—1936);

- синтез кремнийогранических полиорганосилоксанов (К.А.Андрианов, СССР, 1937);

- открытие методов стереоспецифической полимеризации, позволяющей осуществлять синтез стереорегулярных полимеров с заданным конфигурационным строением макромолекул (К.Циглер, Германия, и Д.Нагта, Италия, Нобелевская премия 1963 г.);

- развитие термодинамики растворов полимеров, статистической механики макромолекул и изучение закономерностей поликонденсации (П.Флори, США, Нобелевская премия 1974 г.);

- разработка и углубление теоретической физики полимеров и биополимеров (И.М.Лифшиц и М.В.Волькенштейн, СССР, 1958—1982);

- формирование науки о полимерах как области знания, объединяющей химию и физику полимеров (В.А.Каргин и его школа, 1955—1969);

- построение скейлинговой теории полимеров и теории жидких кристаллов (П.де Жен, Франция, Нобелевская премия 1991 г.);

- получение электропроводящих полимеров на основе полиацетилена, допированного неорганическими соединениями, —  $I_2$ ,  $VF_3$ ,  $AsF_3$  (Х.Широкава, Япония; А.Макдиармид, США, и А.Хигер, США, Нобелевская премия 2000 г.).

Итого за чуть более чем полувековой период становления и развития области физикохимии ВМС было получено пять Нобелевских премий, что заставляет признать ее одним из центральных разделов современной химии. Сейчас химия и физика полимеров рассматривается как междисциплинарная область знания, поскольку она неразрывно связана с органической, физической и коллоидной химией, физикой твердого тела и физикой частично упорядоченных сред (так называемой *soft-matter physics*), а также наукой о материалах. Несомненна ее связь и с биологическими дисциплинами, объектами изучения которых служат биополимеры — высокомолекулярные соединения природного происхождения.

## Жидкокристаллические полимеры: словарь

Среди различных направлений в науке о полимерах, пожалуй, ни одно не развивалось так быстро и стремительно, как связанное с дизайном, синтезом и изучением жидкокристаллических полимерных систем.

*Жидкокристаллические (ЖК) полимеры* — это высокомолекулярные соединения, способные при определенных условиях (температуре, давлении, концентрации в растворе) переходить в ЖК-состояние [1]. Последнее представляет собой равновесное фазовое состояние, занимающее промежуточное положение между аморфным и кристаллическим, поэтому его также часто называют *мезоморфным* или *мезофазой* (от греческого слова *μεσος* — промежуточный). Мезофаза характеризуется наличием ориентационного порядка в расположении макромолекул (или их фрагментов) и анизотропией физических свойств при отсутствии внешних воздействий. ЖК-фаза образуется самопроизвольно, тогда как сам ориентационный порядок в полимере может быть легко «наведен» принудительно — путем простого растяжения образца за счет высокой анизодиаметрии (асимметрии) макромолекул.

Если ЖК-полимеры переходят в мезофазу в результате термического воздействия (нагревания или охлаждения), их называют *термотропными*, а если при растворении в определенных растворителях, то *лиотропными*. Сосредоточимся сначала на первых.

Хорошо известно, что главная особенность низкомолекулярных жидких кристаллов связана с асимметрией формы жестких стержнеобразных или дискообразных молекул (мезогенов или мезогенных групп, см. часть I). С этой точки зрения длинные полимерные цепочки, легко меняющие свою форму под действием теплового движения, казалось бы, не должны быть склонны к формированию ЖК-фазы. Простой мерой гибкости (или жесткости) полимерной цепи служит так называемый статистический сегмент  $\ell$  (его еще называют сегментом Куна), который как бы заменяет определенный участок реальной цепи; сама макромолекула при этом представляется в виде гипотетических свободно сочлененных сегментов длиной  $\ell$  (рис. 1, а). Чем меньше  $\ell$ , тем более гибка полимерная цепь. Так, если величина  $\ell$  лежит в интервале 15—50 Å, полимеры называют *гибкоцепными* (к ним относятся полиэтилен, полипропилен, полиоксиэтилен и др.), если  $\ell$  имеет существенно большие значения (от 100 до 1000 Å и более), — *жесткоцепными*. Среди последних — ароматические полиамиды, эфиры целлюлозы, полиизоцианаты, а также некоторые биополимеры, имеющие спиральную конформацию макромолекул (ДНК, полипептиды).

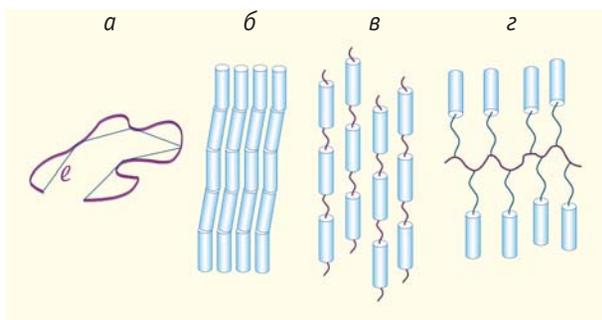


Рис. 1. Схематическое изображение макромолекул полимеров с разной жесткостью: а — гибкоцепные; б — жесткоцепные; в, г — ЖК-полимеры с гибкими развязками и мезогенными группами в основных и боковых цепях соответственно.

От подвижных гибкоцепных соединений, как уже говорилось, ожидать образования ЖК-фазы трудно. Зато макромолекулы жесткоцепных полимеров можно изобразить в виде цепочки длинных жестких стержней (рис.1,б) и в определенном смысле рассматривать как мезогены. Однако большинство таких жесткоцепных полимеров характеризуются высокими температурами плавления, близкими к температурам их химического разложения, что исключает формирование термотропной ЖК-фазы. Тем не менее, согласно теории [2], при их растворении в ряде растворителей в некотором концентрационном интервале может образовываться лиотропная ЖК-фаза. Эти теоретические предсказания были впервые подтверждены блестящими работами С.Робинсона [3] при исследовании ряда растворов полипептидов в 50–60-х годах прошлого века, а несколько позже — в исследованиях американских, голландских и советских исследователей на примере ароматических полиамидов, которые заложили основы производства суперпрочных волокон типа «кевлар».

Для получения термотропных ЖК-полимеров было найдено компромиссное решение, заключающееся в соединении и гибких, и жестких (мезогенных) фрагментов в одной макромолекуле (рис.1,б,в). В зависимости от способа связи этих фрагментов образуются ЖК-полимеры либо линейного строения, когда мезогенные группы, моделирующие структуру низкомолекулярных жидких кристаллов, включены в основную цепь (main-chain LC polymers), либо разветвленного, когда эти группы химически связаны с основной цепью с помощью гибких, обычно алифатических, развязок (спейсеров). Такие ЖК-полимеры называют *гребнеобразными* (comb-shaped или side-chain LC polymers). Впрочем, гибкие развязки нужны и в линейных структурах — они понижают жесткость макромолекул за счет их своеобразного «разбавления», уменьшают температуры плавления полимеров, придавая жестким мезогенным группам достаточно высокую автономию, необхо-

димую для их кооперативного взаимодействия с образованием мезофазы.

Полимеры с мезогенами в основных цепях (рис.1,б) обычно используются для получения конструкционных материалов, а на основе гребнеобразных ЖК-полимеров (рис.1,г) изготавливают функциональные материалы. Рассмотрим подходы к синтезу, а также основные особенности и области применения этих полимерных жидких кристаллов.

## Путь к успеху

Создать ЖК-полимеры, в которых молекулы низкомолекулярных жидких кристаллов входят в состав боковых ответвлений макромолекул, пытались давно [4] — главным стимулом были значительные успехи в области практического использования низкомолекулярных жидких кристаллов. Казалось весьма привлекательным получить гибридные полимеры, напоминающие кентавров природы, о которых шла речь в части I, но имеющие макромолекулярное строение. Такие полимерные ЖК-кентавры могли бы сочетать уникальные оптические свойства жидких кристаллов со способностью высокомолекулярных соединений к образованию пленок, волокон и покрытий. Однако первые попытки решения этой проблемы «в лоб», путем непосредственного химического присоединения мезогенов к основной цепи, оказались неудачными из-за значительных стерических трудностей и конформационных ограничений, накладываемых основной цепью на упаковку боковых мезогенных групп (рис.2,а).

Впервые же концепция спейсера, основанная на разделении ролей основных цепей и мезогенных групп с использованием гребнеобразных полимеров (рис.2,б), была предложена и реализована учеными Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова — автором статьи совместно с Н.А.Платэ, Я.С.Фрейдзоном, Р.В.Тальрозе, С.Г. Костроминым и другими сотрудниками. Специфическое строение гребнеобразных макромолекул, в которых автономный характер поведения боковых алифатических цепей сопутствует их тенденции к упорядочению [4], позволили использовать такие полимеры в качестве самоорганизующихся систем и удобных полимерных матриц для создания ЖК-полимеров гребнеобразного строения.

Патент на способ получения холестеринсодержащих полимеров советские ученые получили в 1976 г. [5], а в 1977-м в большом обзоре [6] детально обосновали концепцию развязки-спейсера, привели сведения о синтезе и свойствах ряда новых синтезированных в МГУ ЖК-полимерах и объяснили причину неудач зарубежных авторов при создании такого рода систем. Однако в английском переводе эта основополагающая статья

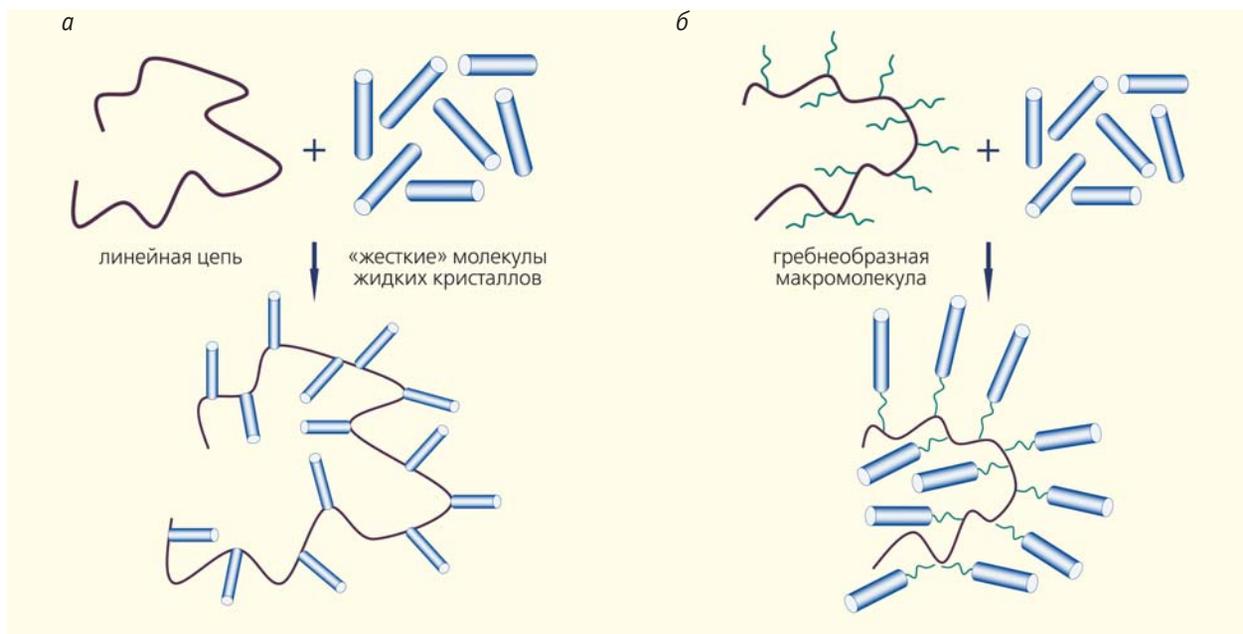


Рис.2. Принцип создания ЖК-полимеров путем соединений гибких макромолекул линейных (а) и гребнеобразных (б) полимеров с жесткими молекулами жидких кристаллов.

была опубликована только спустя год, в 1978 г. В том же году вышла работа немецких исследователей [7], где также рассматривалась концепция спейсера и описывались методы синтеза нескольких гребнеобразных ЖК-полимеров. И вопреки, казалось бы, явному приоритету российских ученых авторы многих последующих зарубежных публикаций ссылаются на упомянутую немецкую статью как на концептуальную работу. К сожалению, такая ситуация характерна для многих русскоязычных статей, которые далеко не всегда доступны иностранным коллегам. Как бы то ни было, важно отметить, что разработанный в указанных работах научный принцип создания термотропных ЖК-полимеров получил дальнейшее подтверждение и развитие в многочисленных зарубежных и отечественных исследованиях и на сегодняшний день является общепринятым [8].

Восьмидесятые и начало девяностых годов прошлого века следует назвать периодом «жидкокристаллического бума». В Советском Союзе и за рубежом получают сотни новых ЖК-полимеров, демонстрирующих необычные оптические свойства, разрабатываются методы управления их структурой и физико-химическими свойствами под действием внешних электрических и магнитных полей. Синтезируются ЖК-полимерные сегнетоэлектрики и холестерики, ЖК-эластомеры, ЖК-дендримеры, ЖК-иономеры и ЖК-композиты, представляющие собой диспергированные жидкие кристаллы в полимерной матрице. Лавинообразно растет число публикаций и обзорных статей, относящихся к синтезу и исследованию ЖК-полимеров, выходят десятки сборников и моно-

графий, среди которых значительную роль играют труды российских ученых [8–10]. За цикл работ под названием «Физическая химия синтетических жидкокристаллических полимеров» группа ученых под руководством Н.А.Платэ была удостоена Государственной премии СССР (1985).

Как же получают эти необыкновенные гибриды, каковы особенности поведения полимерных кентавров и как их можно использовать на практике?

### Два в одном

Для получения таких полимеров сначала синтезируют мономеры с мезогенными группами, а затем проводят их последующую гомополимеризацию или сополимеризацию с самыми разнообразными мезогенными или немезогенными мономерами (рис.3,а,б). Если на первом этапе исследований основное внимание уделялось разработке методов синтеза ЖК-гомополимеров (рис.3,а), то в последующие годы внимание ученых сконцентрировалось на синтезе двойных и тройных многофункциональных ЖК-сополимеров (рис.3,б,в). Ключевой структурный элемент таких макромолекул — количественно доминирующие мезогенные группы, определяющие способность полимера к самоорганизации и формированию ЖК-фазы. Каждая из остальных молекулярных группировок (взятая либо в отдельности, либо вместе с другими) придает конечному материалу желаемые функциональные свойства — фотохромные, электрические, хиральные (оптически-активные), ионофорные и др. По существу в основе синтеза та-

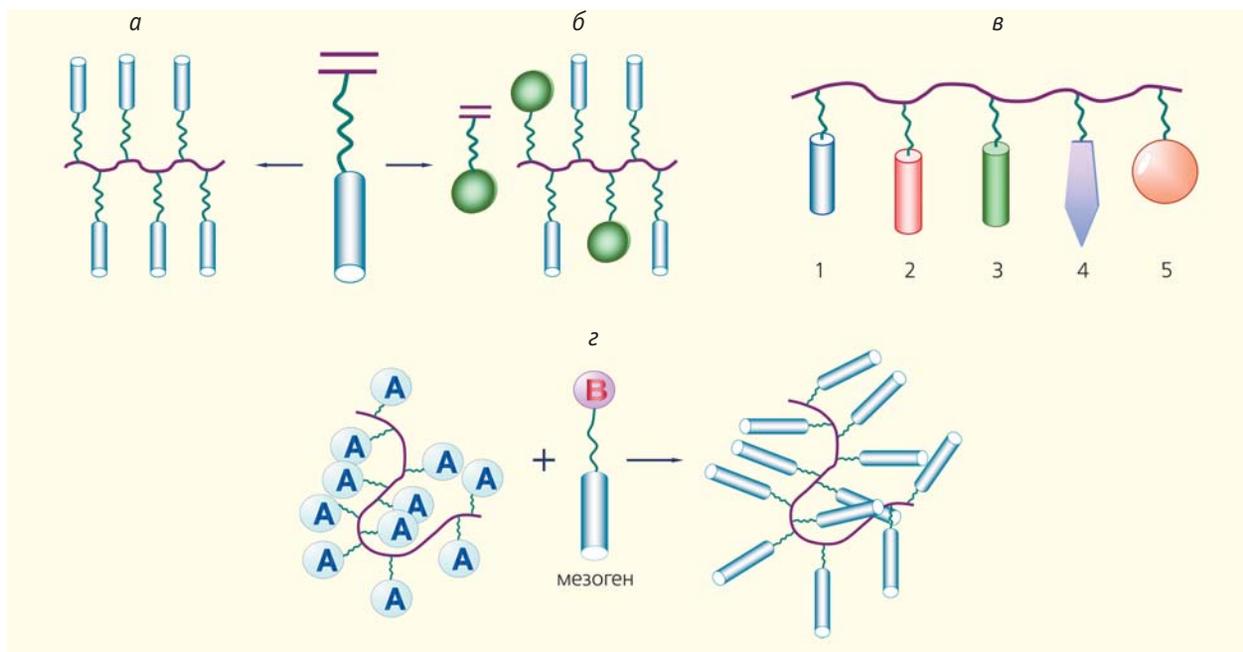
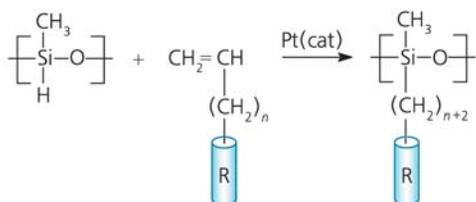


Рис.3. Некоторые методы синтеза гребнеобразных ЖК-полимеров: гомополимеризация мезогенного мономера (а); сополимеризация мезогенных и немезогенных мономеров (б); строение макромолекулы многофункционального полимера, полученного сополимеризацией различных мономеров (в), 1 — мезогенные, 2 — хиральные, 3 — фотохромные, 4 — электроактивные, 5 — реакционноспособные функциональные группы, способные к образованию водородных связей или комплексообразованию; полимераналогичная реакция (г), А и В — функциональные группы.

ких многофункциональных макромолекул лежит типичный метод создания наноматериалов — «снизу-вверх»: из мономерных нанообъектов собираются сложные структурно-организованные полимерные материалы.

Другой метод синтеза гребнеобразных ЖК-полимеров основан на использовании так называемых полимераналогичных реакций, т.е. реакций присоединения мезогенных фрагментов к основной цепи. В этом случае необходимо, чтобы вступающие в реакцию как полимер, так и мезогенные молекулы содержали функциональные группы (А и В), способные к взаимодействию, а длинные алифатические развязки присутствовали в составе хотя бы одной из компонент этой реакции (рис.3,г). Например, для синтеза гребнеобразных ЖК-полисилоксанов широко применяется реакция взаимодействия реакционноспособного полиметилгидридсилоксана с ненасыщенными α-олефинами (реакция гидросилилирования):



где R — мезогенная группа. Использование бифункциональных ненасыщенных мономеров поз-

воляет получать ЖК-полимерные сетки, обладающие свойствами эластомеров (рис.4,а). Кроме вышеуказанных ковалентно-связанных ЖК-полимеров возможно образование водородно- или ионно-связанных ЖК-полимеров, в которых мезогенные группы прикрепляются к основной цепи за счет образования водородных или ионных связей между их концевыми фрагментами и функциональными (или заряженными) группами основной цепи (рис.4,б,в).

Главная особенность ЖК-полимеров определяется их двойственной природой: гибкие основные цепи служат носителями полимерных качеств и определяют возможность получения пле-

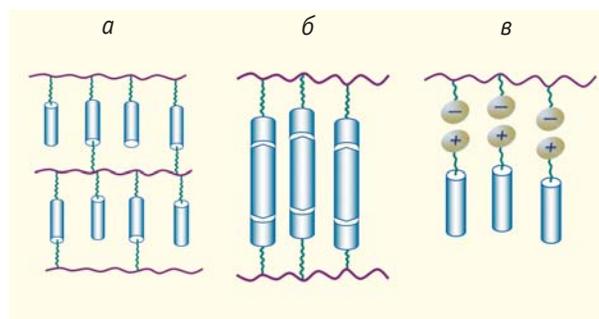


Рис.4. Схемы строения ковалентно-связанных полимерных сеток (а), водородно- (б) и ионно-связанных (в) ЖК-полимеров.

нок, волокон, эластичных материалов и покрытий, а жесткие мезогенные фрагменты выступают носителями мезоморфных свойств. Гибкие цепочки стремятся принять клубкообразную форму (т.е. конформацию статистического клубка), в то время как жесткие мезогены имеют тенденцию к самопроизвольному ориентационному упорядочению. Несмотря на такой, казалось бы, жесткий антагонизм, мезогены в этой борьбе выходят «победителями», результатом чего становится образование термодинамически стабильной ЖК-фазы одного из трех типов, знакомых нам по низкомолекулярным жидким кристаллам (см. часть I), — нематического, смектического или холестерического. Формирующаяся структура, однако, характеризуется значительно более высокой вязкостью и большими временами перестройки по сравнению с кристаллами из части I. Но именно эта, казалось бы, отрицательная черта поликонтравов оказывается большим их достоинством.

Как видно из рис.5, ЖК-фаза полимеров образуется в интервале между температурой стеклования  $T_c$  (или температурой плавления  $T_{пл}$ , если полимер кристаллизуется; в стеклах при температурах выше  $T_c$  макромолекулы также упорядочиваются) и температурой изотропизации  $T_{изотр}$ , выше которой полимер теряет свои ЖК-свойства и переходит в изотропный расплав. В этом температурном промежутке мезогенные фрагменты ЖК-полимера самопроизвольно организуются, формируя мезофазу определенного структурного типа (N, Sm или Chol) в соответствии с молекулярным строением ЖК-полимера (рис.6) [10] (см. также часть I).

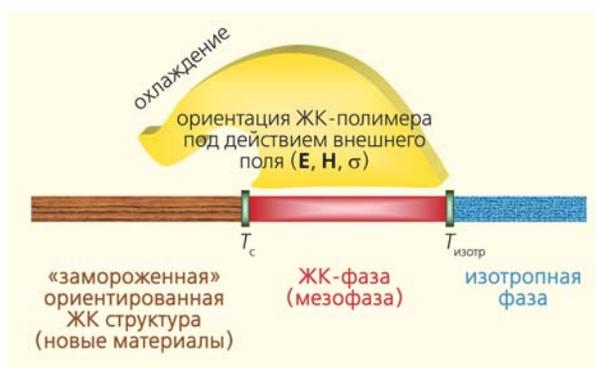


Рис.5. Схема, демонстрирующая возможность получения «замороженной» ЖК-структуры путем охлаждения ЖК-полимера ниже температуры стеклования после воздействия внешнего поля.

В таком состоянии ЖК-полимер легко подвергается воздействию внешнего электрического, магнитного или механического поля, приобретая соответствующую его строению ориентационную супрамолекулярную структуру. Самое интересное, что при быстром охлаждении образца ЖК-полимера ниже  $T_c$  заданная внешним полем ориентированная ЖК-структура замораживается (ввиду замедленности всех релаксационных процессов) с сохранением всех свойств, присущих ЖК-фазе. Таким образом, открываются перспективы получения «застеклованной» ЖК-структуры полимера и создания новых материалов с уникальными физико-химическими свойствами. Ниже приведены примеры некоторых многофункциональных ЖК-полимеров.

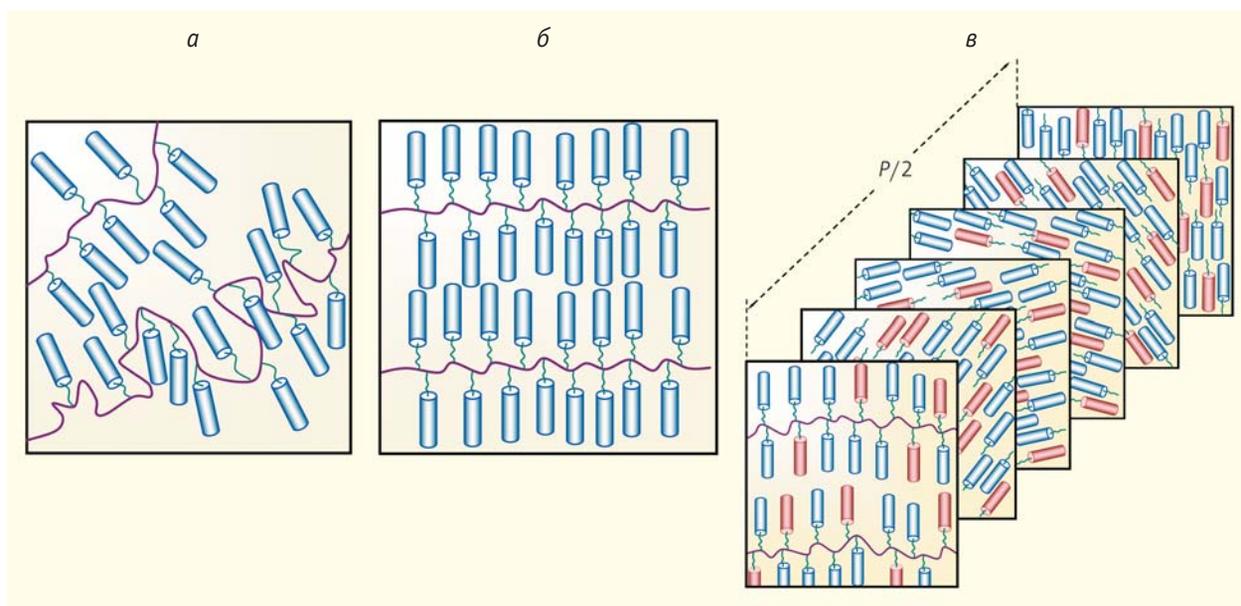


Рис.6. Основные структурные типы мезофаз ЖК-полимеров: нематическая N (а); смектическая Sm (б); и холестерическая Chol (в, хирально нематическая).

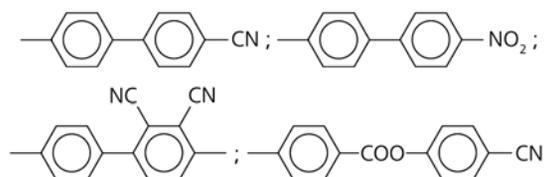
## Полимеры работают как...

### Оптические элементы

Помещая образец ЖК-полимера между токопроводящими стеклами электрооптической ячейки и прилагая электрическое (или магнитное) поле, можно управлять ориентацией мезогенных групп в ЖК-фазе, а затем, охлаждая такую ячейку, получать высокоанизотропные полимерные пленки. Величина двулучепреломления в них может достигать значений  $\Delta n = 0.05-0.25$ , что намного выше  $\Delta n$  низкомолекулярных соединений ( $\Delta n = 10^{-3}-10^{-2}$ ). Определяющей величиной здесь оказывается анизотропия диэлектрической проницаемости полимера  $\Delta \epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ , которая, в свою очередь, зависит от направления дипольного момента мезогенного фрагмента.

Схема ориентации первоначально неориентированного нематического ЖК-полимера при приложении электрического поля для  $\Delta \epsilon > 0$  (б) и  $\Delta \epsilon < 0$  (в), соответствующих так называемым гомеотропной и планарной ориентациям, показана на рис.7. Подобные прозрачные полимерные пленки по существу могут рассматриваться как одноосные монокристаллы, которые годятся для изготовления тонкопленочных оптических элементов — поляризаторов и фазовых пластин. Варьируя геометрию электродов, удастся создавать интересные варианты полимерных пленок с необычной и даже экзотической комбинацией уча-

стков прозрачных (ориентированных) и непрозрачных (неориентированных) областей. Для получения подобных оптических элементов в основном используют гомополимеры, содержащие мезогенные группы с полярными группами, такими как



и др.

### Ячейки памяти

Сополимеры, содержащие мезогенные фрагменты и фотохромные мономерные звенья, под действием света претерпевают обратимые или необратимые превращения, такие как транс-цис(E-Z)-изомеризация, димеризация, циклизация и др. В качестве фотоактивных фрагментов чаще всего используют производные азобензола, циннаматов, кумарина и спиропирана. При облучении поляризованным УФ-светом азобензольные группы ЖК-полимера подвергаются циклическим процессам транс-цис-транс-изомеризации, что приводит к кооперативной ориентации фотохромных и соседних мезогенных групп, которые располагаются

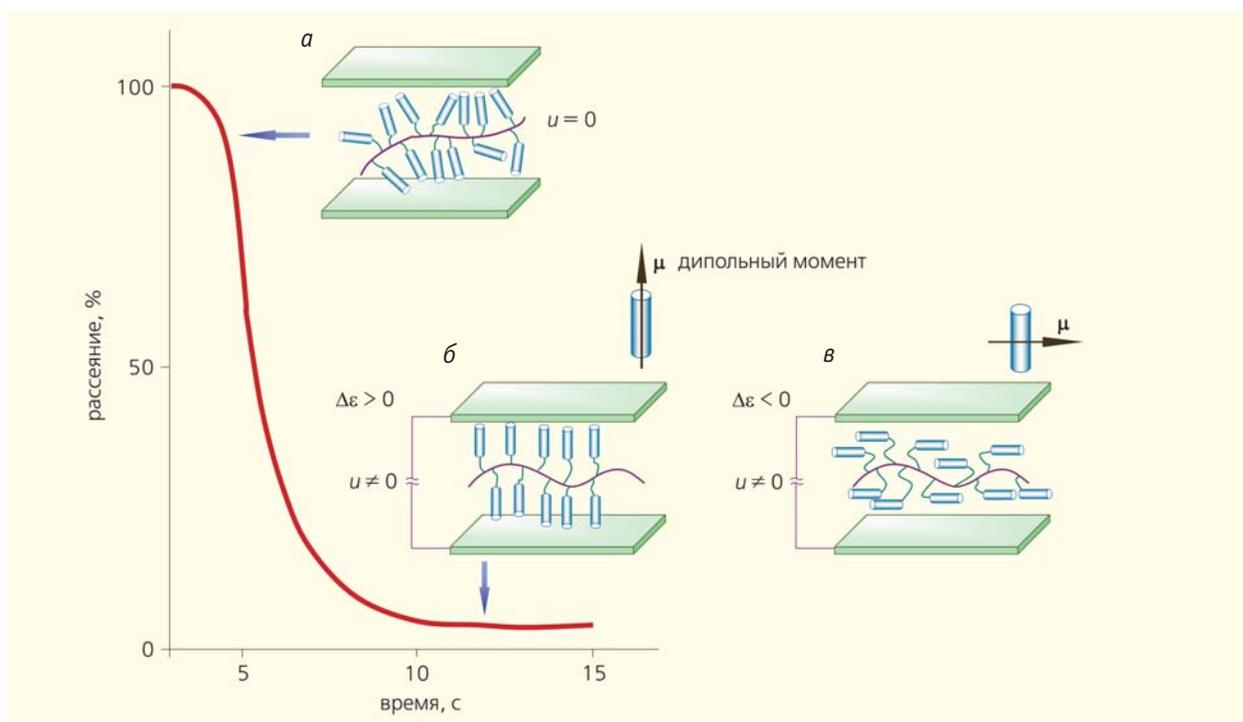


Рис.7. Кинетическая кривая, показывающая уменьшение интенсивности света полимерной неориентированной пленки (а) в скрещенных поляризаторах под действием электрического поля с образованием гомеотропной ( $\Delta \epsilon > 0$ , б) и планарной ( $\Delta \epsilon < 0$ , в) ориентации мезогенных групп.

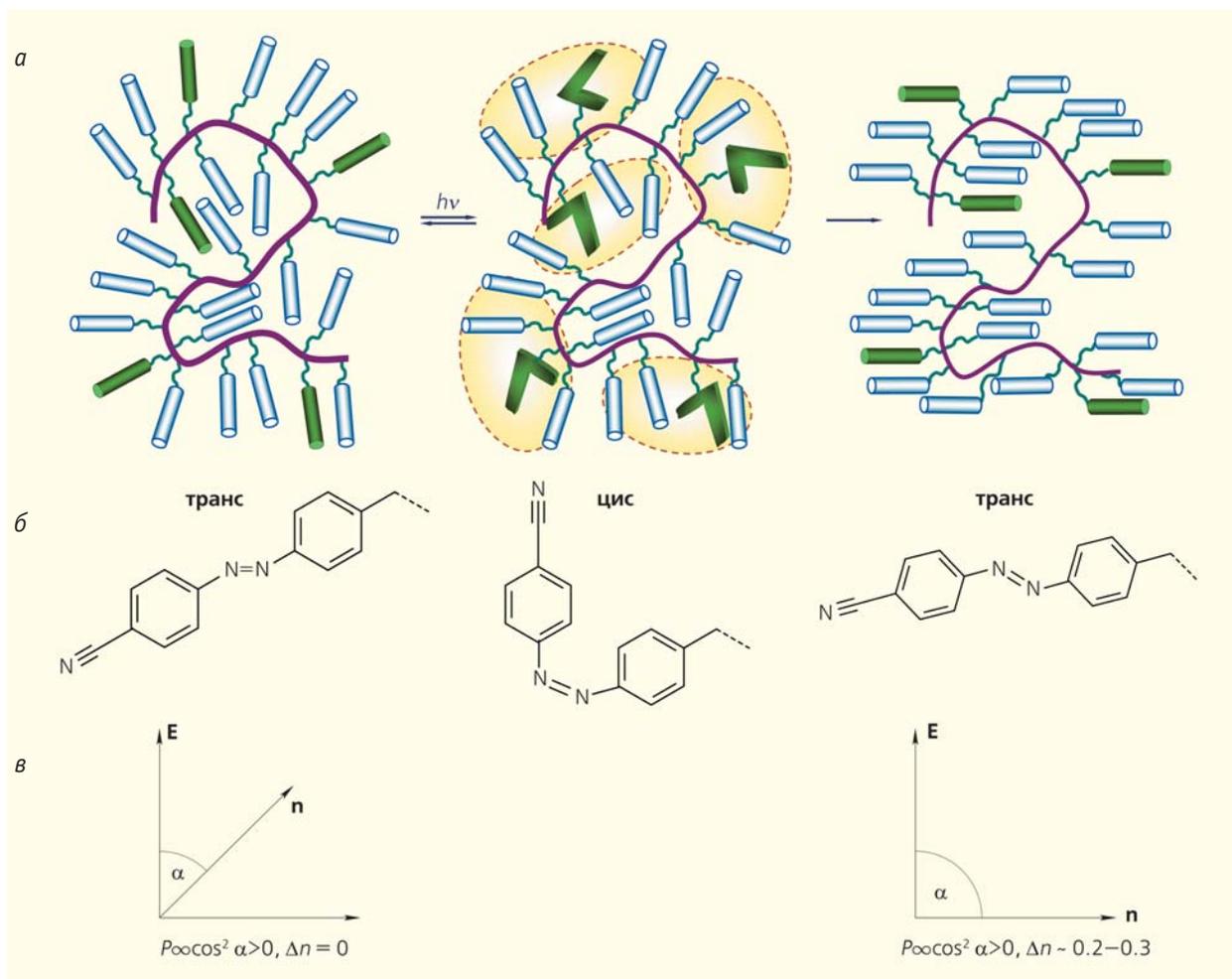


Рис.8. Схема возникновения фотоиндуцированной анизотропии в пленках азобензолсодержащих полимеров приводящей к ориентации фотохромных и мезогенных групп (а); транс-цис-транс-изомеризация азобензольных групп (б); изменения направления директора  $\mathbf{n}$  относительно электрического поля световой волны  $\mathbf{E}$  в процессе фотоориентации (в).

в направлении, перпендикулярном электрическому вектору световой волны (рис.8) [11]. Процесс фотоориентации вызывает наведенное фотоиндуцированное двулучепреломление,  $\Delta n_{\text{инд}}$ , за счет различия в показателях преломления в необлученных и облученных участках полимерной пленки. Такой процесс представляет собой яркий пример оптической записи информации, причем реверсивной (обратимой), поскольку, меняя направление поляризации «пишущего» луча, записанную информацию можно стереть. Более того, различие в значениях показателей преломления исходных и облученных образцов уловить невооруженным глазом нельзя, т.е. запись информации будет скрытой (латентной), легко считываемой в поляризованном свете (при использовании поляризаторов). Отличительная особенность азобензолсодержащих ЖК-полимеров — возможность плавного регулирования значений  $\Delta n_{\text{инд}}$ , что позволяет реализовать всю шкалу интенсивности света записанных изображений. Важно отметить высокое разре-

шение, достигаемое этим методом, — 800–100 линий/мм — и высокую плотность записанной информации (более  $10^9$  бит/см<sup>2</sup>). Такие полимерные пленки могут использоваться в качестве материалов для долговременного хранения информации, в разнообразных системах с оптической памятью (дисках, голограммах, смарт-картах), в том числе для архивной записи (микрокартография, микрофиши).

### Поляризаторы

Полимеры из макромолекул, несущих мезогенные и хиральные оптически-активные группы, формируют хиральные нематики со спиральной надмолекулярной структурой, которая вообще-то свойственна холестерической мезофазе (см. рис.5,в) [12]. Именно спиральная структурная организация холестериков определяет уникальные оптические свойства соответствующих полимерных пленок. Они эффективно вращают плоскость поляризации света (удельный коэффициент достигает

$\sim 10^3\text{--}10^4$  град/мм, что в сотни раз превышает оптическую активность, обусловленную только молекулярной хиральностью) и, кроме того, селективно отражают свет — в определенном интервале длин волн с максимальным отражением при  $\lambda_{\text{макс}}$ . При нормальном падении света на планарно ориентированный образец ЖК-полимера, когда все мезогенные группы располагаются вдоль поверхности пленки и перпендикулярно оси спиральной структуры, выполняется простое соотношение  $\lambda_{\text{макс}} = n \cdot P$ , где  $P$  — шаг спирали (см. рис.5,в). Чем больше концентрация хиральных звеньев в сополимере, тем сильнее закручена спираль в сополимере и тем меньше  $P$ . Таким образом, величина шага спирали (от 200 до 7000 нм) при обычных значениях  $n \sim 1.5$  задает длину волны селективного отражения света из УФ-, видимого или ИК-спектрального диапазона, позволяя получать спектрально-анализируемые циркулярные поляризаторы и отражатели для трюковых частот. Один из важных плюсов при практическом использовании таких полимеров — возможность получения многослойных тонкопленочных материалов.

### Даже три в одном!

Что получится, если мы соединим все три рассмотренные группировки — мезогенные, фотохромные и хиральные — в одной макромолекуле? Будут ли такие ЖК-полимеры проявлять качества, присущие каждой из них? Напомним, что в греческой мифологии тройное объединение несовместимых, казалось бы, качеств приписывалось химерам — чудовищам с головой и шеей льва, туловищем козы и хвостом в виде змеи (рис.9).

Полимерные химеры нам удалось «породить» путем сополимеризации мономеров, содержащих мезогенные, хиральные и фотохромные группы,

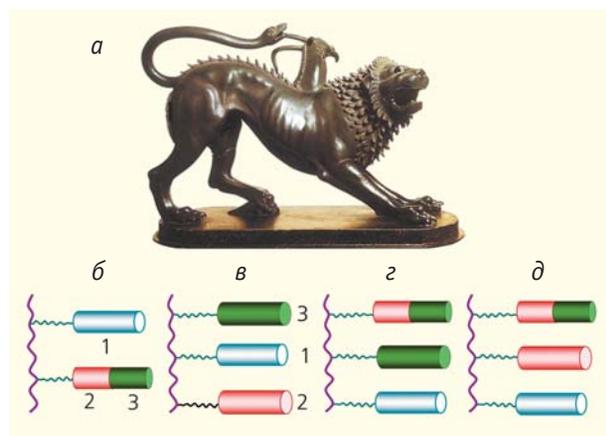


Рис.9. Мифологическое изображение химеры (а) и схемы «химерных» макромолекул (б—д), содержащих мезогенные (1), хиральные (2) и фотохромные (3) группы в различных сочетаниях.

что при их определенном соотношении обеспечивает формирование хиральной нематической мезофазы, обладающей фотохромными свойствами. Возможные варианты сочетания этих групп изображены на рис.9 (б—д) [13]. Все представленные здесь комбинации мезогенных, фотохромных и хиральных групп — прообразы уникальных светоправляемых материалов, локально меняющих свои оптические свойства (двойное лучепреломление, прозрачность, цветовые характеристики) под действием света.

Принцип регулирования спиральной структуры холестерического ЖК-полимера, содержащего мезогенный (обеспечивающий образование ЖК-фазы) и комбинированный хирально-фотохромный фрагмент, продемонстрирован на рис.10,а,б. Облучение полимерной пленки (например, УФ-светом) вызывает фотохимическую E-Z-изомеризацию фотохромных групп (например, азобензольных), которые, будучи связанными с хиральными фрагментами, меняют не только конфигурацию, но и форму мезогенных групп. Понижается ее анизотропия, в результате чего «закручивающая сила» уменьшается. А это, в свою очередь, ведет к раскручиванию холестерической спирали ( $P_2 > P_1$ ) (рис.10,в) и сдвигу пика селективного отражения света в длинноволновую область спектра (рис.10,г) [14]. При облучении хирально-фотохромных пленок через специальный шаблон спираль в локально облученных местах раскручивается, что позволяет записывать цветное изображение на цветном фоне (красные полосы на зеленом фоне) (рис.10,з). Подбирая соответствующие фотохромные и хиральные группы, можно сделать такую запись обратимой и необратимой — налицо перспективы получения фотоактивных светоправляемых полимерных пленок для записи, хранения и отображения информации.

Более сложные системы могут содержать два различных фотохромных фрагмента в одной макромолекуле, что позволяет индуцировать их раздельную изомеризацию при различной длине волны светового облучения. Тройные сополимеры с «двойным фотохромизмом» характеризуются разным откликом на воздействие света; эти пленки тоже могут использоваться как для обратимой, так и необратимой записи оптической информации.

Существенное внимание в последнее время уделяется также созданию фотоуправляемых ЖК-полимерных сеток и эластомеров, меняющих под действием света свои геометрические размеры, что необходимо для конструирования фотомеханических актюаторов и механо-химических машин [15]. Введение в состав макромолекул ЖК-полимеров ионофорных групп (типа краунэфиров) (рис.3,в), способных к комплексообразованию с ионами металлов, интересно с точки зрения получения металлосодержащих ЖК-полимеров, а также фотоуправляемых сенсорных устройств [16].

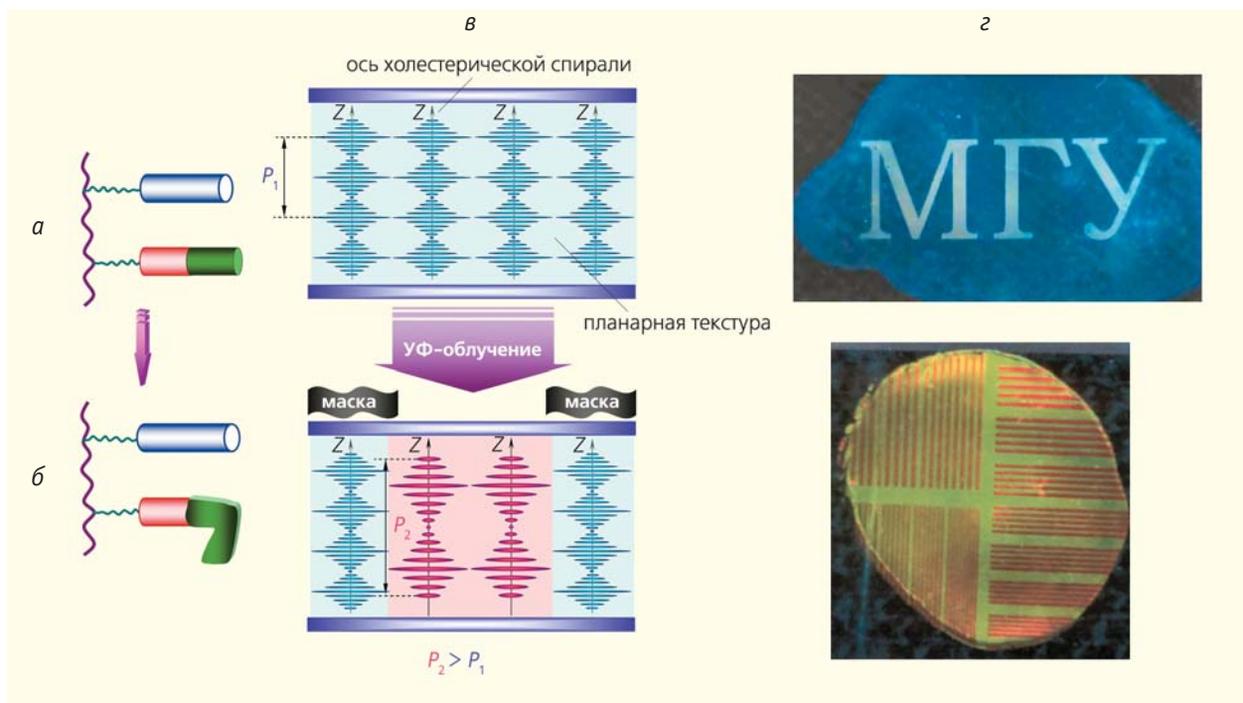
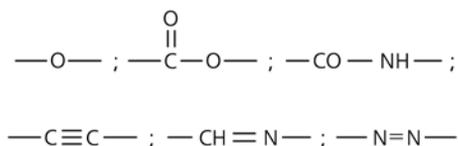


Рис.10. Схематическое изображение макромолекулы ЖК-сополимера до (а) и после облучения УФ-светом (б); принцип записи информации на планарно-ориентированной пленке ЖК-полимера, демонстрирующий раскрутку спирали в облученных областях ( $P_2 > P_1$ ; в); микрофотографии записанной тест-решетки и буквенных символов (z).

### Если обойтись без гребней

Под конец скажем несколько слов и о линейных ЖК-полимерах (с мезогенными группами в основной цепи); к ним относятся жесткоцепные и полужесткоцепные полимеры, макромолекулы которых схематически изображены на рис.2,б,в. Главными структурными элементами последних служат бензольные, нафталиновые, а также гетероциклические фрагменты, химически соединенные друг с другом с помощью таких групп, как



и др. Эти не поддающиеся переработке полимеры — кристаллические соединения, гипотетические температуры плавления которых, большие 450°C, лежат выше их температур химического разложения. Проблема дизайна термотропных линейных ЖК-полимеров заключается в том, как нарушить их регулярное строение — например путем введения в состав их макромолекул гибких метиленовых развязок (спейсеров, рис.11,а). Этот метод впервые предложили и успешно использовали для синтеза полиалканоатов итальянские ученые Ровелло и Сиригу.

Другие способы основаны на комбинации макромолекул ЖК-полимеров, состоящих из мезогенных фрагментов разной геометрической формы (рис.11,б), введении в состав мезогенных фрагментов боковых заместителей (рис.11,в), помещении между жесткими мезогенами «шарнирных» групп в виде атомов кислорода или серы (рис.11,з). И наконец, возможно включение в цепь

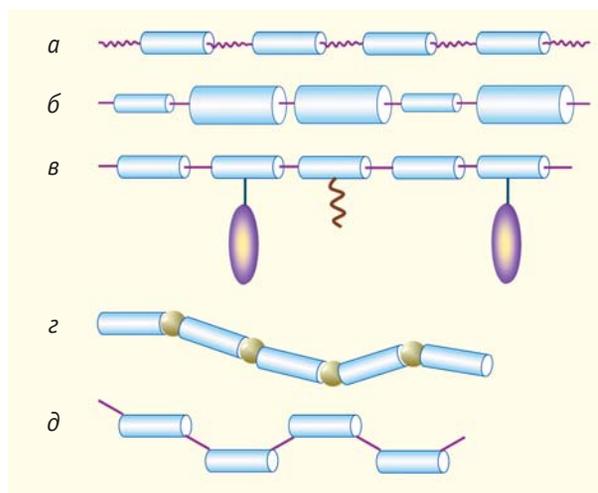
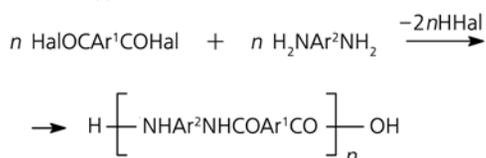


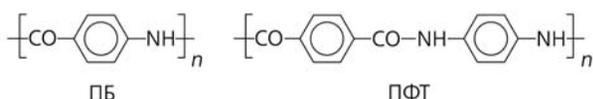
Рис.11. Общие подходы понижения жесткости макромолекул линейных жесткоцепных полимеров с целью получения ЖК-полимеров.

нелинейных ароматических фрагментов с орто- или мета-заместителями, нарушающими коллинарный характер полимерной цепочки (рис.11,д), который обеспечивает ее жесткость. Все типы полимеров, представленные на рис.11, получают реакциями поликонденсации и сополиконденсации.

Пик активности в исследованиях по синтезу жесткоцепных полимеров на основе ароматических полиамидов пришелся на 60–70-е годы прошлого века и привел к созданию нового поколения суперпрочных волокон, известных под торговой маркой «кевлар». Обычно эти полимеры получают реакцией поликонденсации хлорандридов ароматических двухосновных кислот и ароматических диаминов:



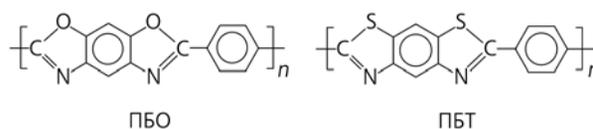
Фирма «Дюпон» в начале 70-х годов начала производство арамидных волокон на основе двух полимеров — поли(пара-бензамида) (ПБ) и поли-пара(фенилентерефталтамида) (ПФТ).



Из-за очень высоких температур плавления эти полимеры образуют только лиотропные жидкие кристаллы в растворах достаточно агрессивных органических растворителей (серной кислоты, диметилацетамида и др.) при концентрации полимера ~10–20 вес%. В лиотропной анизотропной фазе достигается значительно более совершенная упаковка макромолекул по сравнению с изотропным раствором — за счет формирования в мезофазе упорядоченных областей, характеризующихся параллельной агрегацией макромолекул. В этом заключается основной принцип создания суперпрочных волокон на основе ЖК-полимеров. Волокна, полученные из таких предварительно упорядоченных растворов, имеют намного лучшие прочностные характеристики по сравнению с волокнами, полученными из изо-

тропных растворов. Прочность таких волокон в 2–2.5 раза, а модуль упругости в 10–20 раз выше, чем у самых прочных нитей из алифатических полиамидов типа нейлона. С учетом низкого удельного веса по удельной прочности они в 2–4 раза превосходят стальные и стеклянные волокна. Чуть позже, чем на фирме «Дюпон», арамидные волокна на основе сополиамидов были получены в Голландии (волокна «тварон», фирма «Акзо Нобель») и в Советском Союзе (волокна «терлон» и «внивлон», НПО «Химволокно»). Некоторые физико-механические характеристики этих волокон представлены в таблице [17].

Еще более высокие механические параметры имеют жесткоцепные полимеры, содержащие в составе макромолекул гетероциклические фрагменты. Так, например, волокна на основе поли(пара-фенилен бензобисоксазола) (ПБО) и поли(пара-фенилен бензобистиазола) (ПБТ) характеризуются модулем упругости, в 2–2.5 раза превышающим таковой волокна «кевлар-49» (табл.).



Разрывная прочность волокна ПБТ может достигать 4.2 ГПа (при сохранении всех высоких механических характеристик до 370°C!).

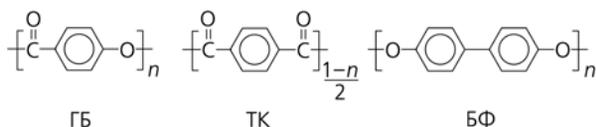
Значительные успехи в области создания и, главное, в практическом применении лиотропных ЖК-систем для получения высокопрочных волокон заставили искать их термотропные аналоги, чтобы совсем отказаться от использования растворителей. Это дало бы возможность получать высокопрочные материалы не только в виде волокон, но и в виде так называемых самоармирующихся пластиков. За счет продавливания уже не растворов, а анизотропных расплавов через фильеры (калиброванные отверстия) литьевых машин образуются фибриллярные (волокнистые) структуры, выполняющие роль армирующих материалов (причем здесь и матрица, и армирующий материал одинаковы по составу). Чтобы снизить высокие температуры плавления (с целью облегчения их переработки), чаще всего используют сополимеры со звеньями-нарушителями

Таблица

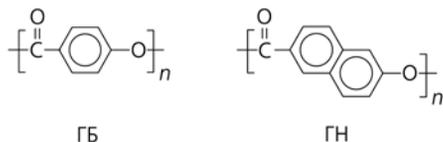
Некоторые физико-механические характеристики суперпрочных арамидных волокон, полученных из лиотропных ЖК-полимеров

Свойства	Кевлар-49 (США)	Тварон (Голландия)	Терлон (СССР)
Прочность при разрыве, сН/текс	254	190	250–260
Модуль упругости, ГПа	130	125	140–150
Удлинение при разрыве, %	2.8	2.7–3.7	2.0–4.0
Плотность, кг/см <sup>2</sup>	1450	1450	—

в макромолекулах, уменьшающие их жесткость (рис.11,2). Одним из примеров может служить тройной сополимер — полиэфир, содержащий приблизительно равные количества звеньев парагидроксibenзойной кислоты (ГБ), терефталевой кислоты (ТК) и симметричного бифенола (БФ)



Этот сополимер с достаточно высокой температурой плавления (380°C) выпускается фирмой «Дартко» (США) под торговой маркой «ксидар». Другой термотропный бинарный ЖК-сополимер — «Вектра» — состоит из звеньев гидроксibenзойной (ГБ) и гидроксинафталиновой (ГН) кислот



Представленные здесь ЖК-полиэфиры (и не только они), называемые суперпластиками, которые получают экструзией из расплавов, имеют очень высокие значения как модуля упругости (60–70 ГПа), так и разрывной прочности (до 700 МПа) при очень небольших величинах разрывного удлинения (1.5–2%). Еще одна важная особенность ЖК-полиэфиров — низкие значения

коэффициента термического расширения ( $\alpha \leq 1 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>), сопоставимые с величиной  $\alpha$  для неорганического стекла ( $5 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup>) и значительно меньшие, чем у обычных, не жидкокристаллических, полимеров ( $1 \cdot 10^{-4}$  град<sup>-1</sup>).

Высокие механические характеристики, термостойкость, удобство переработки обеспечивают широкое практическое использование ЖК-полимеров в виде конструкционных и армирующих материалов в электронной и радиотехнической промышленности, автомобильной и авиационной индустрии, космической технике, ракетостроении, при создании защитных пуленепробиваемых материалов (бронезилеты).

\* \* \*

В представленных двух частях мы кратко рассмотрели эволюцию научных исследований и представлений об удивительных кентаврах природы со времени появления первых публикаций о жидких кристаллах и ЖК-полимерах. Эти работы, начавшиеся более 100 лет назад, привели к открытию нового — жидкокристаллического — состояния вещества, удивительным образом сочетающего свойства анизотропного кристалла и изотропной жидкости, и сыграли революционную роль в развитии новых теоретических представлений о строении твердого тела. Блестящим практическим «выходом» новой теории стала разработка электроуправляемых жидкокристаллических индикаторов — основы ЖК-дисплеев, без которых сегодня трудно представить себе нашу по-

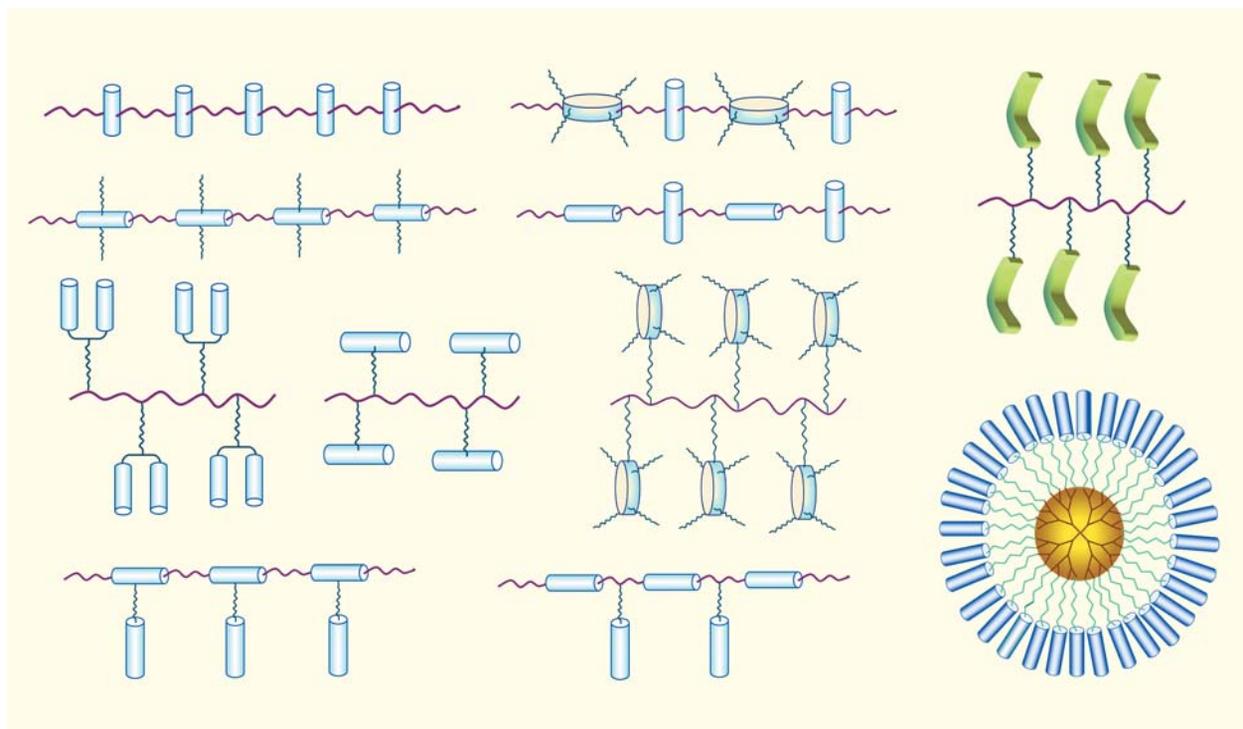


Рис.12. Молекулярная архитектура некоторых ЖК-полимеров с мезогенными группами.

вседневную жизнь. Следующий этап — создание полимерных кентавров, объединяющих уникальные свойства полимеров и жидких кристаллов — потребовал для внедрения в практику почти вдвое меньше времени. Здесь мы упомянули лишь малую долю уже накопленного материала, относящегося к ЖК-полимерам. Сейчас происходит бурное развитие исследований в области наноструктурированных функциональных и конструктивных материалов с управляемыми свойствами. И в этом отношении многофункциональные гребнеобразные, лиотропные и термотропные линейные ЖК-полимеры дают яркий пример саморганизованных «умных» материалов.

На рис.12 показаны некоторые из уже синтезированных макромолекул ЖК-полимеров с различными мезогенными группами. Мы рассмотрели физико-механические свойства только части из них, да и молекулярное строение далеко не ограничивается приведенными здесь примерами. В дополнение к веществам с сочетанием разнообразных мезогенных групп в составе основных и боковых цепей появился новый тип ЖК-соединений дендритного строения, так называемые ЖК-дендримеры, молекулярное строение которых представлено последней формулой на рис.12. Молекулярный дизайн полимерных кентавров продолжается. ■

## Литература

1. Шибяев В.П. Жидкокристаллические полимеры // Современное естествознание: Энциклопедия. Т.6. М., 2000. С.152—159.
2. Flory P.J. Phase Equilibria in solutions of rod-like particles // Proc.Royal Soc. 1956. Ser. A. V.234. №1. P.73—79.
3. Robinson C. Liquid-crystalline structures in polypeptide solutions // Tetrahedron. 1961. V.13. №2. P.219—234.
4. Платэ Н.А., Шибяев В.П. Гребнеобразные полимеры и жидкие кристаллы. М., 1980. (Расширенная английская версия книги: Plate N., Shibaev V. Comb-shaped polymers and liquid crystals. N.Y., 1987.)
5. Шибяев В.П., Фрейдзон Я.С., Платэ Н.А. Авт. свидетельство СССР №525709, 1975 «Способ получения полимеров» // Открытия. 1976. №31.
6. Шибяев В.П., Платэ Н.А. Жидкокристаллические полимеры // Высокомолек. соед. Сер. А. 1977. Т.19. №5. С.923—972.
7. Finkelmann H., Ringsdorf H., Wensdorff J. Model considerations and examples of enantiotropic liquid crystalline polymers // Makromol. Chem. 1978. V.179. №1. P.273—276.
8. Шибяев В.П. Жидкокристаллические полимеры — прошлое, настоящее и будущее // Высокомолек. соед. 2009. Т.51. №11. С.1863—1929.
9. Жидкокристаллические полимеры / Под ред. Н.А.Платэ. М., 1988.
10. Shibaev V.P., Plate N.A. Thermotropic liquid crystalline polymers with mesogenic side groups // Advances in Pol. Science. 1984. V.60/61. P.173—252.
11. Shibaev V., Kostromin S., Ivanov S. Comb-shaped polymer with mesogenic side groups as electro- and photooptical active media // Polymers as electrooptical and photooptical active media. Chapter 2 / Ed. V.Shibaev. Berlin; Heidelberg; N.Y., 1996. P.37—110.
12. Шибяев В.П. Жидкие кристаллы: холестерики // Химия и жизнь. 2008. №7. С.26—31.
13. Shibaev V.P., Bobrovsky A.Yu., Boiko N.I. Photoactive liquid crystalline polymer systems with light-controllable structure and optical properties // Progress in Polymer Science. 2003. V.28. №5. P.729—836.
14. Бобровский А.И., Бойко Н.И., Шибяев В.П. Новые фоточувствительные хиральные ЖК сополимеры // Высокомолек.соедин. Серия А. 1998. Т.40. №3. С.410—418.
15. Cross-linked liquid crystalline systems: from rigid polymer networks to elastomers / Ed. D.Broer, G.Crawford, S.Zumer. CRC Press, Boca Raton, FL, 2011.
16. Рябчун А.В., Бобровский А.Ю., Шибяев В.П. и др. Флуоресцентные и фотооптические свойства водородно-связанных полимерных жидкокристаллических композитов на основе производных стильбазола и краун-эфиров // Высокомолек. соед. Сер. А. 2011. Т.53. №8. С.623—632.
17. Mechanical and thermophysical properties of polymer liquid crystals / Ed. W.Brostow. L., 1998.

# Геология и мифотворчество

*Факты — это кирпичи, из которых складывается человеческий опыт, это оружие в творчестве.*  
В.А.Обручев

*Сон разума порождает чудовищ.*  
Франциско Гойя

В.Н.Холодов

Геология включает целый комплекс наук о Земле, охватывающий многие уровни и типы организации вещества. В нее входят геотектоника, геохимия, литология, минералогия, петрография, палеонтология, учения о полезных ископаемых и рудах, о фациях и формациях, о зональном строении планеты (ядро, мантия, литосфера), о ее верхних оболочках — стратифере, биосфере, гидросфере и атмосфере. Все эти науки связывает между собой представление о пространственно-временных взаимоотношениях различных геологических тел.

Между тем реконструкция таких пространственно-временных соотношений существенно ограничивается неполнотой геологической летописи и развитием более поздних процессов, изменяющих облик пород. Ограниченность в возможности реконструкций древних областей питания (континентальный блок) и областей седиментации (моря и океаны) существенно возрастает от квартера к архею с каждым периодом, эрой или стадией тектонического развития земной коры (табл.1). В этом же направлении растет влияние вторичных преобразований (диагенеза, катагенеза и метаморфизма осадочных толщ), порой изменяющих первичные осадки до неузнаваемости.

Сужают возможности геологии и колоссальный объем геологического времени (4.0—4.5 млрд лет), и технические трудности проникновения в не-



**Владимир Николаевич Холодов**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Геологического института РАН. Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов — геохимия осадочного процесса, литология, осадочные рудные месторождения.

дра планеты. Самые глубокие скважины достигают 12—15 км. Если вспомнить, что радиус нашей планеты составляет 6400 км, становится понятно, что основная часть земного шара исследована лишь косвенно, с помощью геофизических методов, и все еще не охвачена непосредственными наблюдениями.

Наконец, следует подчеркнуть, что подавляющее большинство геологических процессов представляет собой сложное многофакторное явление, в котором определить относительное значение каждого фактора бывает чрезвычайно сложно. Именно относительная роль различных факторов, рождающих то или иное геологическое явление, обычно служит предметом споров ученых-теоретиков.

Не вызывает сомнения, что именно многофакторность геологических систем препятствует глобальной математизации этой науки и делает весьма условными всеобщие классификации пород и руд, авторы которых пытаются учесть сразу все их особенности.

Все перечисленные выше черты делают геологию наукой эмпирической, индуктивной, строящейся на фактическом основании. Здесь следует напомнить, что в науке известны два пути познания — индуктивный (фактологический) и дедуктивный (априорный, основанный на логических построениях и теоретических положениях). В некоторых областях науки оба способа познания равноценны (или почти равноценны). Например, в математике можно по изначальным данным доказать теорему, а затем, используя ту же теорему, вернуться к исходным данным.

Во многих естественных науках, в том числе и в геологии, такие построения исключены. В них теоретические положения основаны на предположениях и аналогиях и потому не могут быть отнесены к категориям законов. Здесь всегда более предпочтительна индукция, а главный судья исследования — «его величество Факт».

В этом отношении интересные работы крупнейшего естест-

Таблица 1

**Площади обнаженных толщ, позволяющие более или менее точно реконструировать их полноценные\* пространственно-временные соотношения на Земле**

Этапы	Геологическое время	Суммарные площади обнажений, млн км <sup>2</sup>		Условные реконструкции процессов прошлых событий
		континентальный блок	оксанический блок	
Современный	десятки-сотни-тысячи лет	149	361	Возможно реконструировать не только результат, но и геологические модели процессов
Мезозойско-кайнозойский	от тысяч до 250 млн лет	90.8**	290**	Реконструируется по результатам процессов седиментации и диагенеза
Палеозойский	250—535 млн лет	18	неизвестны	Первичные результаты изменены процессами диагенеза-катагенеза
Протерозойско-архейский	535 млн лет — 4.5 млрд лет	30	неизвестны	Первичные результаты изменены процессами диагенеза-катагенеза-метаморфизма

\* Менее полноценны реконструкции по скважинам, где сведения о пространственно-временных соотношениях отрывочны и нередко основываются на предположениях.

\*\* Рассчитано по данным Х.Блата, Р.Л.Джонсона, А.Б.Ронова.

воиспытателя XX в. В.И.Вернадского. В книге «Размышление натуралиста» [1] он подчеркивал, что в науке (геологии) существуют истинная ее часть, состоящая из научных фактов, их классификаций и научных эмпирических обобщений (Вернадский называет ее «научным аппаратом»), и многочисленные построения, составляющие экстраполяции, гипотезы и конъюнктуры, достоверность которых невелика.

Конец 20-го и начало 21-го столетия в России ознаменовались важными политическими и экономическими событиями. Переход к демократии и свободе слова, а также реабилитация религий вызвали всплеск лженаучных тенденций. В изобилии появились колдуны, гадалки, экстрасенсы, гипнотизеры, предсказатели и чародеи. Некоторые области науки оказались под прицелом фальсификаторов и шарлатанов.

Не осталась в стороне от этого и геология. Космические успехи человечества возродили идеи о связи геологических процессов с Галактикой, сравнительной планетологией и рядом других новых и весьма продуктивных научных направлений. Однако на этой новой ниве возродились совершенно бездоказательные представления о глобальных катастрофах, связанных с падени-

ем метеоритов, глобальном радиоактивном заражении морей и массовой гибели планктонного биоса или о формировании целых эпох рудообразования в прошлом Земли за счет разнородного галактического материала, периодически выпадающего на поверхность планеты. Близки к ним утверждения о надвигающемся конце света.

Резкое сокращение разведочного бурения, отказ от геологического картирования огромных территорий и уменьшение финансирования геолого-разведочных работ в России заставили некоторых ученых обратиться к бездоказательным и абстрактным рассуждениям о влиянии ядра и мантии Земли на геологические события, протекающие в литосфере, на происхождение рудных, а также нефтяных и газовых месторождений.

Мне кажется, что на рубеже двух столетий российская геология вступила в тот трудный период, о котором, перефразируя Вернадского, можно сказать, что в нем философские, религиозные и художественные взгляды авторов отодвигают на второй план факты и эмпирические обобщения.

Однако следует верить, что дальнейшее развитие науки несомненно выдвинет на первый план «научный аппарат», ликви-

дирует тяжкие последствия невзгод и неизбежно увеличит объем истинных знаний.

В данной статье я не могу рассмотреть все отступления от эмпирической дороги в геологии. Ее задача гораздо более узкая — рассмотреть гипотезы происхождения черных сланцев с точки зрения биогенных катастроф и показать несостоятельность построений, выполненных дедуктивным путем.

Черные сланцы — понятие собирательное и условное [2]. К этой группе обычно относят осадочные отложения, отличающиеся от других пород тонким чередованием органического, глинистого и (реже) карбонатного или кремнистого вещества. Обычно органическое вещество образует слойки толщиной 1—2 мм и состоит из осадков фитопланктона, преобразованного в гуминовые и фульвокислоты или кероген. Его суммарное содержание в осадках и породах колеблется от 4—5 до 70—80%. По степени концентрации органического вещества среди черных сланцев различают собственно сланцы, сапропелиты и горючие сланцы.

По мере погружения в глубь стратисферы органическое вещество, значительно опережая минеральные составляющие породы, трансформируется, умень-

шается в объеме, обуглероживается и превращается в антраколит, шунгит и графит. Несколько позднее глинистая составляющая преобразуется в аргиллиты, карбонаты кальция — в углекислоту и доломиты, а аморфный кремнезем — в кремнекислые растворы и кварц.

Многие исследователи рассматривают черные сланцы как типичные нефтематеринские породы и связывают с ними происхождение промышленных залежей нефти и газа. Кроме того, они — источники и носители ценных металлов. В них обнаружены высокие содержания золота, платины, урана, ванадия, вольфрама, редкоземельных элементов, серебра и других металлов, многие из которых добываются из сланцев в значительных количествах.

Если к сказанному добавить, что с черными сланцами парагенетически ассоциируются промышленные месторождения марганцевых руд и фосфоритов [2], то станет очевидным их огромное значение в жизни человечества.

Генезис черных сланцев в геологической литературе обсуждалось с 20—30-х годов XX в. Подавляющее большинство исследователей (А.Д.Архангельский, Н.И.Андрусов, Р.Ф.Геккер, И.М.Губкин, М.Д.Залесский, К.П.Калицкий, Б.Кокс, А.Н.Розанов, Н.Ф.Погребнов, Г.Потонье, Н.М.Страхов, П.Траск, Д.Хьюит, и многие другие) связывали их образование с условиями, благоприятными для развития планктонной и бентосной жизни, с расцветом биоса в морях и озерах, с сезонным накоплением органического материала, периодически сменяемым усиленным поступлением терригенных компонентов, карбонатного или кремниевого материала.

Противоположные утверждения высказаны в работах С.Г.Неручева [3] и Г.А.Беленицкой [4, 5]. Они попытались представить образование черных сланцев как следствие геологических катастроф, массового

поступления в моря урана или нефтяных углеводородов, усиления гибели планктона и накопления на дне масс органических остатков, преобразованных затем в черные сланцы.

Этим очень ярким, но, на мой взгляд, ошибочным построением и будет посвящено данное сообщение.

### Книга Неручева — вклад в науку или заблуждение?

В 1982 г. Неручев опубликовал книгу «Уран и жизнь в истории Земли» [3], утверждающую новую для своего времени концепцию формирования черносланцевых отложений. Согласно взглядам автора (во многом навеянным трагедией городов Хиросима и Нагасаки, всеобщим страхом перед радиоактивностью, а также Международными конференциями по мирному использованию атомной энергии), в результате вулканогенно-гидротермальной активности рифтовых систем Земли на ее поверхность периодически поставляются огромные количества урана. Избыток радиоактивного, стимулирующего жизнь, но в больших дозах токсичного элемента вызывал в смежных морских водоемах расцвет планктона и частично угнетал все остальные формы биоса. Этот процесс и отражался в водоемах в виде накопления огромных масс планктоногенного органического вещества, впоследствии превратившегося в черные сланцы. Последние, таким образом, представляют собой следы расцвета одних биоценозов, мутации и гибели других — это критические уровни развития морских биосфер прошлого, отражающие импульсивную тектономагматическую жизнь Земли.

В монографии Неручева тщательно подобраны и широко используются все доказательства, подтверждающие основную мысль автора, но остается без рассмотрения факти-

ческий материал, не укладывающийся в эти рамки. Так, например, за семь лет до выхода в свет этой книги Г.Н.Батуриным была опубликована превосходная монография «Уран в современном морском осадкообразовании» [6]. Выводы Батурина совершенно расходятся с концепцией Неручева, однако в своей работе, специально посвященной урану, последний их не обсуждает, хотя широко использует литературный и фактический материал Батурина.

Главный объект исследования, позволяющий построить объективную и современную модель формирования ураноносных черных сланцев, — несомненно глубокоководные осадки Черного моря. Они были подробно изучены российскими и зарубежными исследователями. Но их выводы почти полностью проигнорированы Неручевым. Предшественниками было показано, что донные черносланцевые осадки образовывались на протяжении 7.5 тыс. лет в течение древнечерноморского и современного этапов развития водоема на площади около 300 тыс. км<sup>2</sup>. Они представлены тонкослоистыми сапропелитами, чередующимися с серыми глинами, тонкослоистыми органо-глинистыми и органо-карбонатными илами, которые содержат огромное количество остатков планктоногенных организмов (кокколитофорид, динофлагеллят, реже — диатомей). В районах, прилегающих к крутым континентальным склонам, среди них появляются переотложенные турбидитовые терригенно-биогенные илы.

Все эти отложения образовывались в условиях сероводородного заражения вод и, в отличие от прибрежных терригенных осадков и ракушечников, формирующихся в кислородной среде, донного бентоса не содержат.

Любопытно, что гидрохимия современного черноморского водоема в отношении урана не представляет собой ничего

экстраординарного. Уран попадает в Черное море вместе с речным стоком. Никаких других его источников здесь не обнаружено.

Согласно подсчетам Батурина [6], в современных реках континентального блока Земли 54% массы урана перемещается в виде взвеси, а 46% мигрирует в форме раствора. Примерно те же соотношения обнаруживаются и в реках черноморского водосбора (Дунае, Днепре, Доне, Кубани, Риони, Ингури, Чорухе), где во взвешенной форме находится  $(0.8-3) \cdot 10^{-4}\%$ , а в растворенном виде —  $(0.41-3.5) \cdot 10^{-6}$  г/л. Эти оценки весьма близки к средним содержаниям

урана в реках Европы, Азии, Северной и Южной Америки.

Поведение растворенного урана в Черном море хорошо вписывается в общую картину, по которой воды современных северных и приполярных морей обычно обеднены этим элементом, а теплых южных морей им обогащены (табл.2).

Кроме того, нельзя не отметить, что средняя концентрация урана в морской воде определяется в  $3 \cdot 10^{-6}$  г/л, т.е. полностью совпадает с его содержанием в Черном море.

Главный концентратор урана в морях и океанах — планктон. По расчетам Батурина [6], планктон накапливает количество ура-

на, в 23.2 раза превышающее его содержание в морской воде и в 3.5 раза больше, чем обнаружено в других организмах черноморского водоема (моллюсках, рыбах, водорослях и др.).

Однако, как это впервые показал И.И.Волков [7] и подтвердили наши расчеты [2], гибель планктоногенных организмов вносит только часть металла, который обнаруживается в осадках. Другая его (иногда значительная) часть поступает в осадок из наддонных сероводородных и иловых вод, а также увеличивается за счет микробиологических потерь органического вещества в диагенезе.

Поскольку среднее кларковое содержание урана, по А.П.Виноградову, составляет  $3.2 \cdot 10^{-4}\%$ , становится очевидным, что в глубоководных илах Черного моря на наших глазах формируется урановое рудопоявление, связанное с пелагическими черноморскими осадками (табл.3).

Сравнение карт распределения органического вещества и урана (рис.1), с одной стороны, показывает большое сходство их конфигурации (что отражает общность судьбы обоих компонентов в морском водоеме), а с другой — расхождения в деталях локализации. Последние связаны с процессами диагенетического перераспределения урана, обусловленными трансформацией органики под действием микробиологических процессов, растворением урановой взвеси и органики в иловых водах и образованием гуминовых и фульвокислот.

В толще разновозрастных глубоководных осадков голоцен-четвертичного времени, отложившихся на дне Черного моря, отчетливо видно, что содержания органического вещества и урана растут от современных осадков к древним (табл.4). Максимальные концентрации этих взаимосвязанных компонентов обнаруживаются в древнечерноморских пластах, возникших на рубеже 7000—7500 лет. Подстилающие их новоэвксинские

Таблица 2

Содержание урана в водах современных морских водоемов [6]

Море	Содержание урана, $10^{-6}$ г/л	
	интервал	среднее
Северное	0.87–2.15	1.3
Балтийское	0.44–1.5	0.4
Баренцево	—	1.6
Охотское	—	2.1
Берингово	—	2.2
Белое	1.4–1.8	1.6
Средиземное	0.7–2.25	—
Черное*	1.3–5.1	2–3
Южно-Китайское	—	3.1
Азовское	3.2–3.3	—
Каспийское	3.0–10	—
Аральское	30–60	—

\* По данным 154 определений в пробах, отобранных на глубинах 0–2000 м.

Таблица 3

Распределение урана в современных осадках Черного моря [8]

Тип осадка	Содержание урана, $10^{-4}\%$		Число проб
	интервал	среднее	
<b>Мелководные осадки:</b>			
ракушки	0.2–1.8	0.8	12
пески	0.1–1.5	0.8	6
алевриты	0.6–1.6	1.1	4
алеврито-глинистые илы	1.2–2.5	1.9	12
мидиевый ил	0.5–4.0	1.6	12
фазеолиновый ил	0.7–5.2	2.8	15
<b>Глубоководные осадки:</b>			
глинистые илы (до 20% $\text{CaCO}_3$ )	1.0–15.0	3.4	59
глинистые слабоизвестковистые илы (20–30% $\text{CaCO}_3$ )	2.5–12.0	6.9	10
глинисто-известковые илы (30–50% $\text{CaCO}_3$ )	5.5–16.0	10.3	11
известково-глинистые илы (более 50% $\text{CaCO}_3$ )	8.0–23.0	15.3	14

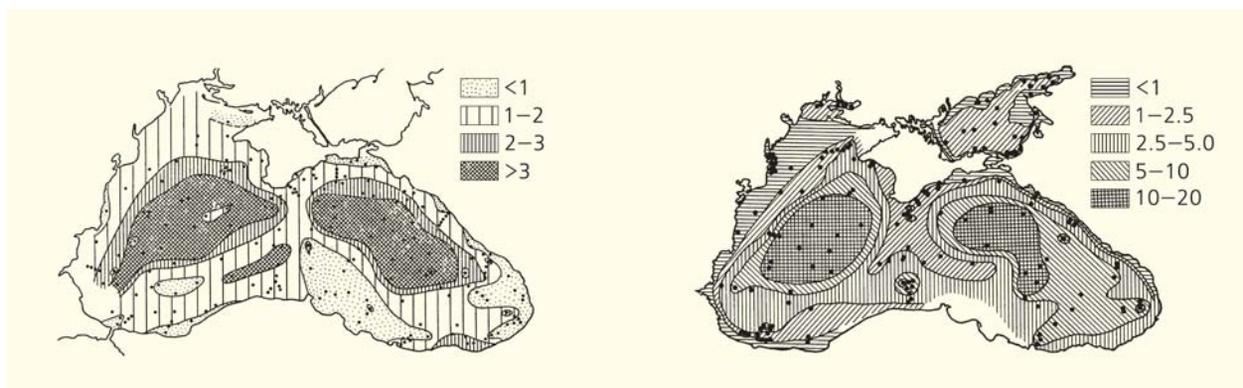


Рис.1. Распространение органического вещества ( $C_{орг}$  на натуральный осадок, %; слева) и урана ( $U$ ,  $10^{-4}$  %) в Черном море [6, 9]. Точками показаны станции опробования.

толщи характеризуются минимальным содержанием органики и урана.

Примерно 15 тыс. лет назад на месте Черного моря существовало новоэвксинское озеро. Его воды были богаты кислородом, накапливали фосфор, азот и другие биогенные элементы, сероводородное заражение и связь со Средиземным морем отсутствовали, а уровень воды на 50–120 м уступал уровню Мирового океана.

Тектоно-вулканические события, охватившие восточное Средиземноморье на рубеже 7000–7500 лет назад, существенно изменили ситуацию. В пределах Малоазиатско-Балканского региона начались опускания, которые привели к трансгрессии морских вод, формированию проливов Босфор и Дарданеллы и нарушению покоя в новоэвксинском озере.

Прорвавшиеся в него тяжелые соленые воды Средиземного моря вытеснили пресные и богатые биофилами воды озера. Его уровень поднялся. В условиях расслоения водоема по степени солености и расцвету планктона там стали накапливаться черные илы, богатые органическим веществом, началось сероводородное заражение вод, а также обогащение ураном и его элементами-спутниками древнечерноморских и современных глубоководных осадков моря.

Так выглядит наиболее обоснованная современная генетическая модель формирования ураноносных черных сланцев. Неручев в своей книге подменяет ее общими рассуждениями. Например, ссылаясь на работы П.Смита (почему-то отсутствующие в списке литературы), он

утверждает, что накопление сапропелевого материала в осадках Черного моря и в воде других районов мира соответствует значительным изменениям магнитного поля Земли. Далее, ссылаясь на труды Е.В.Максимова (также не удостоенного войти в список использованной литературы), он сообщает, что событиям в черноморском водоеме отвечает «глобальный сейсмо-тектонический кризис».

Поставщиком урана в древние моря Неручев считает вулканическую деятельность (во всех ее проявлениях). Однако исследования петрографов и геохимиков в большинстве случаев не подтверждают эти предположения.

Действительно, по данным В.И.Герасимовского [10], в кислых эффузивных породах разного возраста в среднем содержит-

**Таблица 4**

**Содержание урана и органического вещества в толще голоцен-четвертичных отложений Черного моря [6]**

Тип глубоководных осадков	Содержание урана, $10^{-4}$ %		$C_{орг}$ , % среднее	Количество проб
	интервал содержаний	среднее		
<b>современные осадки</b>				
Глинистые илы	1.7–4.5	2.8	1.48	16
Глинисто-известковые илы	4.2–13.0	6.5	2.57	35
Известково-глинистые илы	9.0–20.0	14.0	3.87	60
<b>древнечерноморские осадки</b>				
Глинистые илы	1.1–5.0	3.0	1.06	14
Микрослоистые илы	1.9–5.0	4.2	2.33	14
Сапропелевидные илы	4.5–35.0	13.0	13.56	16
<b>новоэвксинские осадки</b>				
Глинистые илы	0.3–4.0	1.5	0.65	32

ся  $(2-7) \cdot 10^{-4}\%$  урана, в основных —  $(0.2-4) \cdot 10^{-4}\%$ . В.И.Рехарский и О.В.Крутецкая [11] установили, что на Северном Тянь-Шане каледонские и герцинские эффузивы (957 проб) в среднем накапливают  $1.8 \cdot 10^{-4}\%$  U. Е.Ларсен, исследовавший район Сан-Хуан (США), показал, что в альпийских эффузивах (70 проб) обнаруживается  $(3-5) \cdot 10^{-4}\%$  U.

Приведенные данные не свидетельствуют в пользу особой генерации урановых соединений в древнем эффузивном процессе. Все они не выходят за ряд базальтовых содержаний.

При современном гидротермальном процессе также не выносятся на поверхность заметное количество урана. По данным А.К.Лисицина [12], термальные углекислые воды разных районов бывшего СССР, удаленные от рудных месторождений, содержат  $(1-2) \cdot 10^{-6}$  г/л урана. В термальных водах Камчатки, по сведениям Н.И.Удальцовой и Л.Л.Леоновой, концентрация урана не превышает  $10^{-8}$  г/л, а по данным Лисицина и Б.Г.Поляка, — составляет  $(3-8) \cdot 10^{-7}$  г/л.

Ссылаясь на работу Батурина [6], Неручев подчеркивает повышенное содержание урана в современных осадках вблизи рифтовых зон Индийского и Срединно-Атлантического хребтов и намекает на их гидротермальное происхождение. Однако Е.Г.Гурвич, обобщив данные по составу гидротермальных источников в 15 рудных районах Мирового океана, показал в них полное отсутствие урана [13]. Таким образом, гидротермальные воды срединно-океанических хребтов по этим показателям существенно отличаются от морских вод и не поставляют уран в океаны.

Между тем исследования американских ученых показали, что в ряде западных штатов США и Канады распространены жильные месторождения урана, локализованные в докембрийских вулканогенных породах. К их числу относятся крупные урановые залежи озер Медвежь-

его и Невольничье (Эхо, Эльдорадо, Биверлодж, Эйс Фей, Гуннар и др.), а также связанные с вулканами жильные месторождения урана в штатах Юта и Невада (Бейсин, Рейнж и др.).

Российские геологи исследовали позднепалеозойские урано-молибденовые месторождения, связанные с вулканическими комплексами пород Урало-Монгольского пояса. В различных районах Северного Тянь-Шаня были описаны жильные скопления урано-молибденовых руд в субвулканических интрузивах, в неках и трубках взрыва кислых пород, а также в сложнопостроенных покровах вулканических депрессий.

При рассмотрении генезиса таких образований обычно подчеркиваются вторичность залегания рудных скоплений и их несомненная связь с гидродинамическим перемещением рудных компонентов. Очевидно, что сама по себе вулканическая деятельность не была поставщиком урана из глубин, но несла громадный запас термодинамической энергии, определившей колоссальные перераспределения урана в гидродинамических системах вулканогенных полей и формирование жильных залежей в тектонических разломах, трещинах и на контактах с вулканическими инъекциями.

Допустим, однако, что Неручев прав и через жерла вулканов и трещины гидротерм в моря и океаны действительно время от времени поступали огромные количества урана, активно влиявшие на жизнь биогенных сообществ. Этим построениям полностью противоречат количественные соотношения между объемами морских вод и реальными содержаниями в них урана.

Общеизвестно, что среднее содержание этого элемента в морских и океанических водах равно  $3 \cdot 10^{-6}$  г/л. Самые небольшие современные морские водоемы — Балтийское и Северное моря — содержат соответственно 23 тыс. км<sup>3</sup> и 54 тыс. км<sup>3</sup> морской воды.

В экспериментах по трансформации и гибели планктоногенных водорослей и дафний [14], на которые ссылается Неручев, содержание урана в лабораторных сосудах менялось в десятки, сотни и даже десятки тысяч раз. Попробуем расчетным путем определить те реальные количества (массу) урана, которые потребуются ввести в воды Балтийского и Северного морей, для того чтобы изменить содержание этого элемента всего на один порядок.

Кубический километр содержит  $10^{12}$  л воды. В нем будет находиться (при кларковом содержании)  $10^{12} \text{ л} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ г/л} = 30 \text{ т}$  урана. При увеличении содержания урана на один порядок 1 км<sup>3</sup> морской воды должен дополнительно получить 270 т металла. Расчет прост:  $10^{12} \text{ л} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \text{ г/л} = 300 \text{ т} - 30 \text{ т} = 270 \text{ т}$ .

Нетрудно понять, что для изменения содержания интересующего нас металла в воды Балтийского моря придется ввести  $6.2 \cdot 10^6 \text{ т}$  ( $23 \text{ тыс. км}^3 \cdot 270 \text{ т}$ ), а в Северное —  $1.5 \cdot 10^7 \text{ т}$  ( $54 \text{ тыс. км}^3 \cdot 270 \text{ т}$ ). Для сравнения напомним, что подсчитанные запасы всех месторождений урана на Плато Колорадо (США) в 1953 г. оценивались в  $5 \cdot 10^3 \text{ т}$ , крупнейшего уранового месторождения Африки Шинколобве (Конго) — в  $3 \cdot 10^4 \text{ т}$ , а суммарные промышленные запасы всех месторождений так называемых «капиталистических стран» в 1979 г. составляли  $1.7 \cdot 10^6 \text{ т}$  урана. Комментарии, как говорится, излишни.

Огромное количество воды в морях и океанах Земли и малая распространенность урана в породах литосферы не могли вывести этот элемент в разряд главных химических факторов, которые определяют развитие всего водного биоса, полностью контролирующего воспроизводство планктона и других организмов в водной среде и тем самым регулирующего образование черносланцевых толщ на дне палеоводоемов.

Отправной пункт концепции Неручева — тесная генетическая

и пространственная связь урана с планктоногенными черными сланцами. Оказалось, однако, что совсем не все древние черные сланцы обогащены ураном (табл.5).

Если достаточно высокие концентрации урана устанавливаются в кембрийских сланцах Швеции, девонских сланцах Чаттануга (США) и в карбоновых черносланцевых толщах Франции, то очень близко к кларковым средним содержаниям количество урана в девонских сланцах Шеманг и пенсильванских сланцах Аллигейни (США).

Неравномерность распределения урана также возрастает при движении от современных и голоцен-четвертичных сланцевых толщ к докембрию.

Работами многих геохимиков установлено, что в мезозойско-кайнозойских сланцах в основном преобладают невысокие концентрации урана, слегка превышающие кларк, но обычно выдерживающиеся на больших расстояниях и коррелирующие с содержанием органического вещества. В палеозойских же сланцевых толщах наблюдаются локальные скопления металла, а на значительных участках — почти полное его отсутствие. Совсем усложняется картина распределения урана в углеродистых сланцах докембрия. В некоторых местах его совсем нет, а в других он образует стратиформные залежи в шунгитах

или графитах. Иногда углеродистые толщи соседствуют с крупными жильными месторождениями урана, имеющими большое промышленное значение (Рам Джангл, Эль-Шарана в Австралия, Раненбург в Германии, возможно, Ла Никелина и Эсперана в Аргентине и др.).

Мне представляется, что процессы гидродинамического перераспределения урана в черных сланцах нацело «стирали» первичные взаимоотношения урана и планктоногенного органического вещества во многих палеоводоемах прошлого и затушевывали в них все седиментационные геохимические процессы. Поэтому механизм первичного накопления урана в планктоногенном материале черных сланцев лучше всего исследовать в голоцен-четвертичных черных илах морей.

Непонятно, почему именно уран Неручев сделал главным «героем» биотических событий прошлого. Общеизвестно, что в составе планктоногенных организмов, преимущественно формирующих органическую часть черных сланцев, преобладает углерод. Согласно условной формуле Редфильда, состав планктона обычно представляют так:  $(\text{C}_2\text{H}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}(\text{H}_3\text{PO}_4)$ . Как видно, основные составляющие планктона — углерод, кислород, азот и фосфор. Это жизненно необходимые и количественно преобладающие химические ве-

щества, и их геохимические циклы в Мировом океане определяют главные моменты жизни планктона. Кроме этих главных компонентов в нем присутствуют — Ca, Si, Mn, Co, Fe, Zn и (в небольшом количестве) U, Cu, Ni, Cr, Cd, Hg, Mo, As и др. Содержание урана колеблется от  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1.8 \cdot 10^{-4}\%$ , в среднем составляя  $1 \cdot 10^{-4}\%$  [16, 17].

Примерно те же геохимические соотношения отражаются в сформированных за счет планктона черных сланцах.

Неужели способность к радиоактивному распаду делает уран элементом, определяющим и изменяющим всю биологическую жизнь в древних водоемах?

Утверждая катастрофический ход событий во время сланцеобразования, Неручев почти всю четвертую главу посвящает сравнению видового состава биоса до и после этого события. При этом, само собой разумеется, анализируются только фанерозойские эпохи.

В большинстве случаев метод исследования довольно прост. Типичные для него диаграммы демонстрируются на рис.2.

Чаще всего Неручев на глазок вырисовывает максимумы концентрации органического вещества и урана и располагает их в центре диаграммы. Они считаются переломными моментами в жизни биоса палеоводоема. Затем по литературным данным выписываются (иногда и под-

**Таблица 5**

**Распределение урана в палеозойских сланцах [15]**

Местонахождение	Возраст	Наименование сланцев	Содержание урана, $10^{-4}\%$	
			среднее	отклонение
Германия	пермь	Купфершифер	39	38
Канзас (США)	пенсильваний	Канзас	16	10
Пенсильвания (США)	пенсильваний	Аллигейни	4	2
Франция	карбон	Сент-Ипполит	1244	6054
Пенсильвания (США)	девон	Шеманг	3	2
Пенсильвания (США)	девон	Гамильтон	6	2
Нью-Мексико (США)	девон	Вудфорд	9	10
Огайо (США)	девон	Огайо	10	8
Теннесси (США)	девон	Чаттануга	62	24
Пенсильвания (США)	ордовик	Редсвилл	4	2
Швеция	кембрий	Квасцовый	168	254

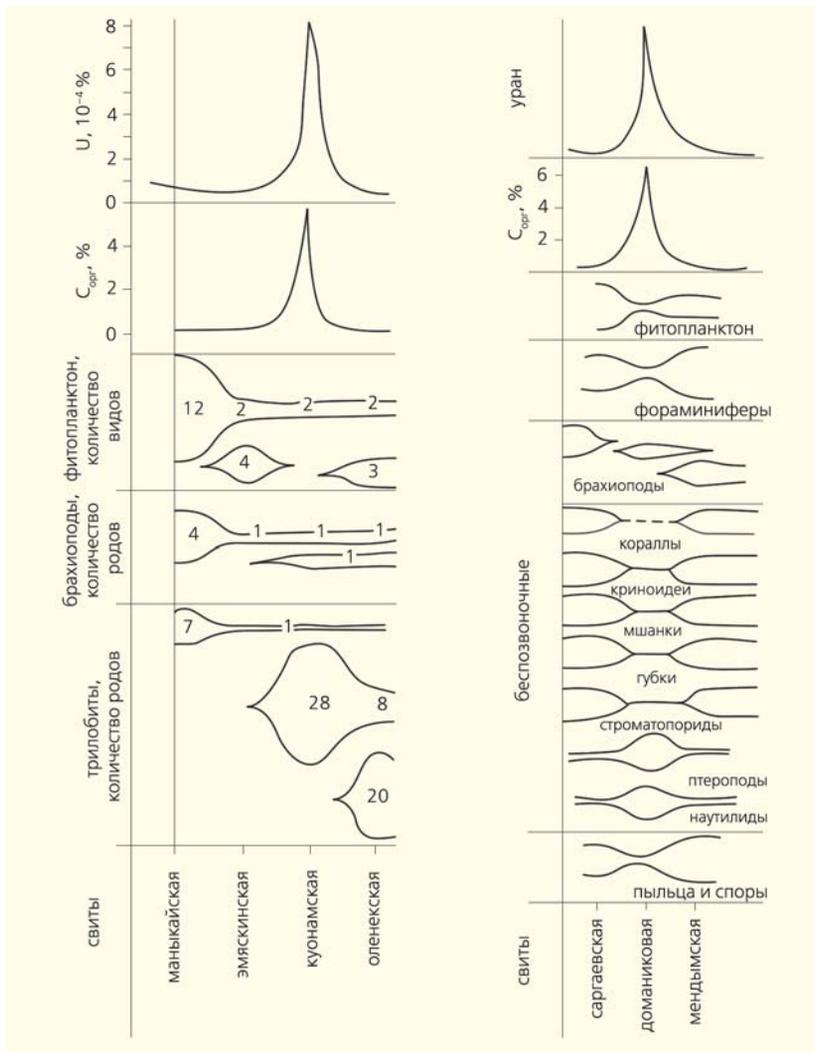


Рис.2. Зависимость смены биоса от стратиграфического положения черных сланцев в кембрии и девоне [3].

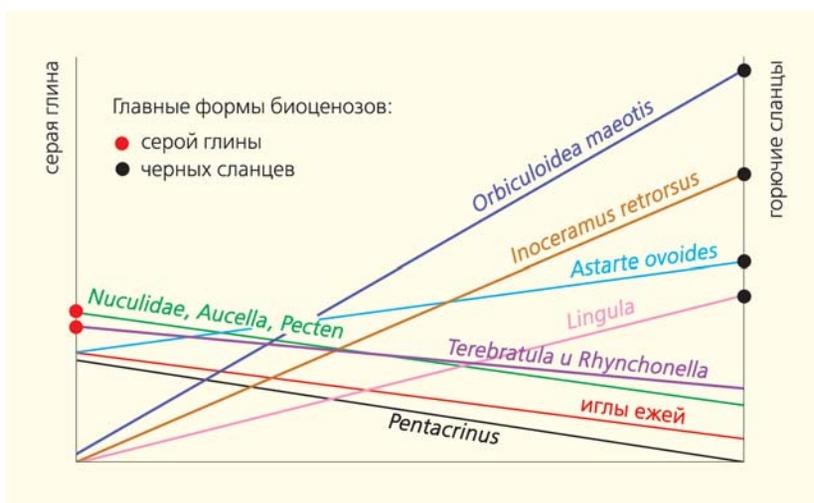


Рис.3. Изменение состава фауны моллюсков в зависимости от фациального состава волжских отложений [9].

считываются) формы ископаемых, обнаруженных ранее и позднее критического события. А priori выявленные различия в распространении организмов связываются с влиянием урана, растворенного в водах древних исследуемых палеоводоемов.

В этих построениях совершенно отсутствует характеристика литологического состава и фациальных особенностей осадочных отложений, содержащих фауну. То, что фациальный контроль определяет не только состав осадочных отложений, но и их фаунистическую характеристику, хорошо подтверждает диаграмма распределения ископаемых биоценозов в толще нижеволжских горючих сланцев (рис.3), выполненная Страховым [9]. Сочетание фаунистических остатков в фациях серых глин и черных сланцев резко различаются между собой.

В настоящее время катастрофическим биотическим событиям разного масштаба посвящена огромная литература. Причины, вызывающие смену биоценозов, многолики и разномасштабны. К ним относятся: изменение климата, соленость вод, трансгрессий и регрессий, перестройка гидродинамики палеоводоемов, изменение содержания разных химических элементов и многие другие факторы.

В заключительных главах монографии, развивая исследования своих предшественников, Неручев описывает важнейшие эпохи сланцеобразования в истории Земли, располагает их в соответствии с галактическими периодами, проявившими себя в фанерозое, и пытается увязать их стратиграфическое распространение с фазами складчатости и эпохами рифтогенеза [18].

Чтобы решить вопрос о происхождении эпох формирования сланцев в пределах фанерозоя, мы построили диаграмму (рис.4), на которой по данным Неручева нанесено стратиграфическое положение глобальных и региональных эпох сланцеобразования (VI). На деталь-

ной стратиграфической колонке (I) охарактеризованы циклы галактического года (II), периоды сжатия и расширения планеты (III) и общая тепловая характеристика климата Земли (IV) [19]. Кроме того, на графике представлены кривая эвстатических колебаний уровня Мирового океана, трансгрессий и регрессий (V) [20], а также диаграмма количественного распространения вулканических пород (VIII) [21].

В графах VI и VII, кроме стратиграфической принадлежности эпох сланцеобразования, по данным российских и американских исследователей, показаны относительные запасы урана, связанные с черносланцевыми толщами (VI) или заключенные в инфильтрационных гидрогенных скоплениях в песчаниках, известняках и других проницаемых породах (VII).

При анализе рисунка мы видим, что три самые крупные глобальные эпохи сланцеобразования (венд—кембрий, девон и верхняя юра) совпадают с эпохами растяжения Земли, которые, в свою очередь, синхронизируются с периодами максимального распространения вулканических пород на суше и в океане [22]. Исключение составляет венд и кембрий, где геологов встречают затруднения чисто стратиграфического порядка.

Попытки более детального сопоставления региональных эпох сланцеобразования, распространения вулканических пород и эвстатических колебаний уровня Мирового океана (трансгрессий и регрессий) не дают отчетливых положительных результатов.

В связи со всеми этими построениями наиболее продуктивной представляется гипотеза А.Б.Ронова [21], связывающая избыток или недостаток органического вещества в морях и океанах с балансом углекислоты.

Общеизвестно, что фитопланктон морей и растительность суши в результате фото-

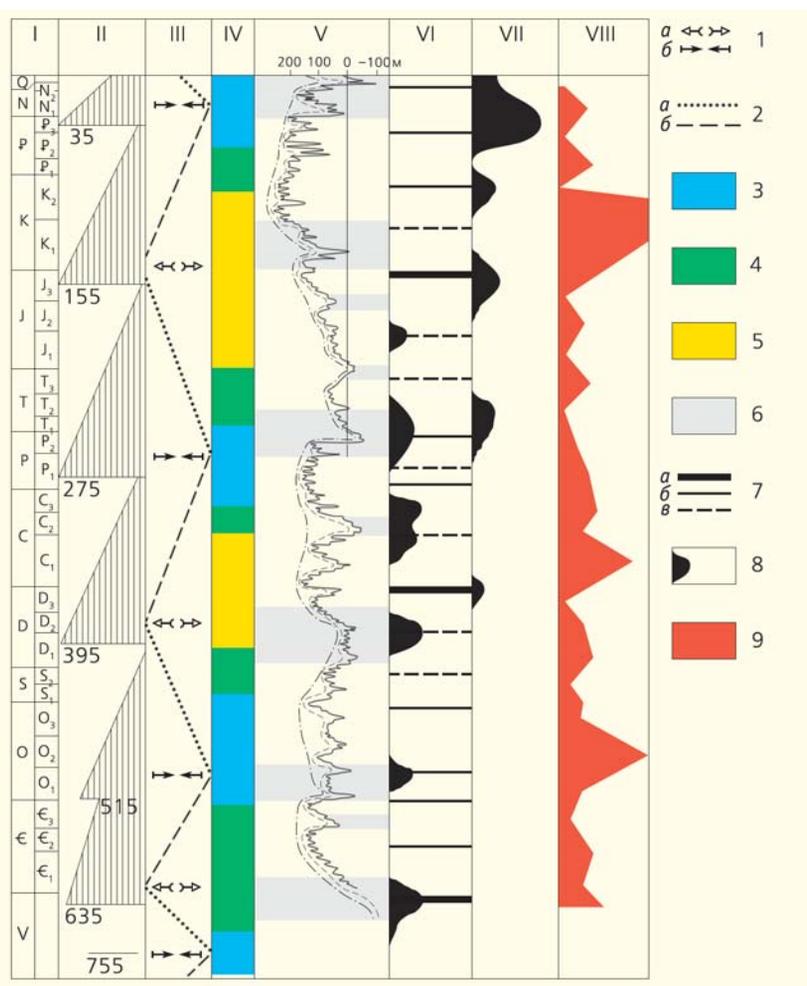


Рис.4. Эпохи сланцеобразования в истории Земли [3] и их сопряженность с интенсивностью вулканизма [21], эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана [20], общими характеристиками климата планеты и галактическими периодами [19]. 1 — максимумы напряжений в галактике (а — растяжения, б — сжатия); 2 — нарастание напряжений (а — растяжения, б — сжатия); 3—5 — типы общего климата планеты: 3 — холодный, 4 — умеренный, 5 — теплый; 6 — периоды устойчивых трансгрессий и регрессий, связанные с колебаниями уровня Мирового океана; 7 — положение эпох формирования черносланцевых толщ [3]: а — глобальных, б — региональных, в — предполагаемых; 8 — примерные запасы урана в палеозойских черных сланцах (VI) [19] и в мезозойско-кайнозойских песчаниках и известняках (VII) [19]; 9 — распространение вулканогенных пород в стратисфере Земли [21].

синтеза поглощают огромное количество CO<sub>2</sub> и выделяют O<sub>2</sub>. Резерв углекислоты в атмосфере Земли непрерывно уменьшается, однако вынос огромных масс CO<sub>2</sub> из ее недр во время извержений вулканов и усиление гидротермальной деятельности компенсируют возникающий дисбаланс.

Углекислота атмосферы поглощается водами Мирового

океана и, с одной стороны, обеспечивает жизнь фитопланктона, что способствует формированию черносланцевых осадков и черных сланцев в чехле морей и океанов, а с другой — рождает в водной среде гигантское количество биогенных и хемогенных карбонатов.

Обоснованность таких построений доказывается синхронностью распределения масс вул-

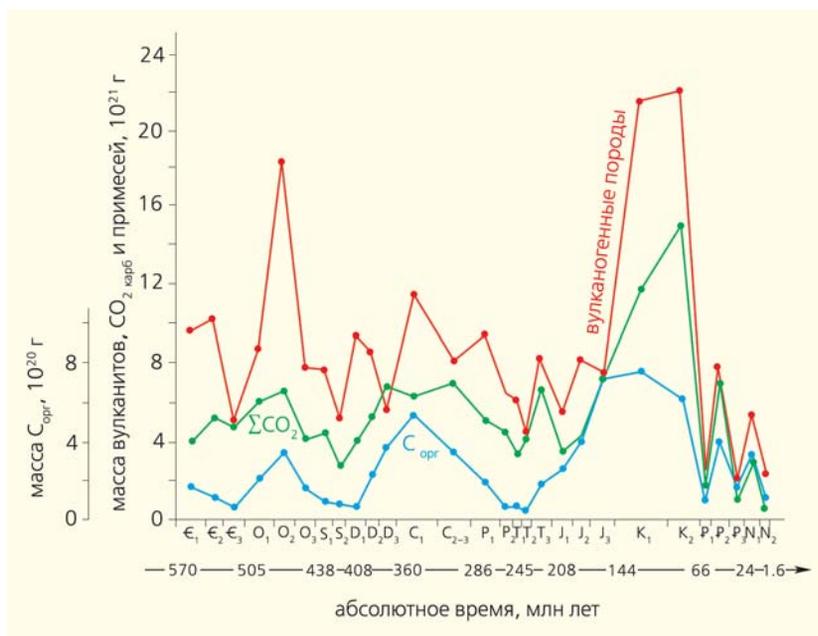


Рис.5. Изменение во времени объема вулканических пород, углекислоты ( $\text{CO}_2$ ), заключенной в карбонатных породах, и рассеянного органического вещества ( $\text{C}_{\text{opr}}$ ) [21].

канических пород,  $\text{CO}_2$  карбонатных пород и остаточного углерода (рис.5), а также хорошей корреляцией между поведением рассеянного углерода и запасами углеводородных газов, угля и нефти [21].

Таким образом, главный фактор формирования эпох сланценакопления в истории Земли — поведение углерода (а возможно, также и азота и фосфора). Уран и другие малые элементы (несмотря на их важную роль во многих областях человеческой деятельности) — постоянные спутники скоплений планктоногенного органического вещества, но они второстепенные участники процессов концентрации углерода.

Именно так рассматривали поведение органического вещества и урана многие геохимики.

Определяющая роль биоса в поведении урана подчеркивается еще и тем (рис.4), что на рубеже палеозоя и мезозоя—кайнозоя происходит резкая смена наиболее характерных осадочных месторождений урана. Для палеозоя типична концентрация урана в черных

сланцах, тогда как в верхних отложениях фанерозоя распространены урановые руды «гидрогенного» типа, приуроченные к континентальным и морским породам-коллекторам (рис.4, VI, VII).

Такая инверсия, по-видимому, отражает общее увеличение биомассы биосферы и захват наземной растительностью огромных площадей суши на континентальном блоке Земли.

Все сказанное делает очевидной главную ошибку Неручева: он переставил местами причину и следствие и сделал главным фактором процесса явление второго порядка.

### Черные сланцы и техногенные катастрофы

Беленицкая предлагает еще один вариант, объясняющий образование черных сланцев пополнением биотического потенциала палеоводоемов за счет высачивания, а иногда даже катастрофического прорыва нефтяных углеводородов из недр Земли [4, 5].

Опять «научная гипотеза» навеяна современными трагическими событиями в Мексиканском заливе, где летом 2010 г. инженерные ошибки сотрудников компании «British Petroleum» привели к подводному фонтанированию нефтяной скважины, распространению нефти на огромной площади и загрязнению акватории и берегов прилегающих штатов США.

В описании возникающих при авариях проблем и в характеристике деталей явлений Беленицкая обнаруживает большие литературные способности и эрудицию. Яркими красками рисует она прорывы нефти и газа, движение солей, устремления растворов, излияния асфальта и их вторичных преобразований. И в то же время после прочтения этих статей остается некая неудовлетворенность. А возникает она потому, что автор либо не рассматривает сам механизм явления в целом, либо рассматривает, но дает ему совершенно неверное объяснение.

Так, в статье «Мексиканский соляно-нефтяной реактор» [5] собран очень большой и интересный литературный фактический материал, характеризующий геологическое строение, нефтегазоносность, соляную тектонику и грязевой вулканизм мексиканской провинции.

Автор с большой детальностью и образно описывает самые различные проявления углеводородов в провинции Галф Кост. Но, переходя к их происхождению, начинает блуждать в тумане. Многие особенности бассейна, да и само название статьи говорят в пользу саморазвития этого региона, в пользу формирования соляных штоков, нефтегазопоявлений, асфальтитовых покровов и грязевых вулканов за счет преобразований самих мезозойско-кайнозойских осадочных толщ.

Однако тут же Беленицкая намекает на огромную роль обширного базальтового (океанического) пятна, вертикальную

тектоническую проницаемость осадочных толщ региона и квантовые прорывы флюидных потоков из недр планеты, скорее всего, имея в виду поступление флюидов в стратисферу из глубин.

При этом автор ни слова не говорит о самом механизме явления. Между тем основа таких элизионных процессов — погружение осадочных толщ в область повышенных температур и давлений. Вследствие этого происходят трансформация и дефлюидизация глинистых минералов, органического вещества и эвапоритовых пластов в условиях замкнутых физико-химических систем, образование сверхвысоких пластовых давлений и последующих периодических прорывов пластических масс, растворов и нефтей на поверхность или дно морских водоемов [22—24].

Значительно хуже обстоит дело с другой статьей того же автора [4]. В ней Беленицкая оценивает результаты техногенных катастроф скважин, оценивает и другие аварийные разливы нефти, показывает влияние этих событий на бассейновые экосистемы, особенно подчеркивая и классифицируя микробиологические сообщества. В статье очень образно описывается гибель нафтофобных и расцвет нафтофильных биоценозов. Среди нафтофильных Беленицкая различает окисляющие микроорганизмы и попутчиков микробных биоценозов — планктонные организмы. Последние создают микробные биомассы, отлагающиеся при ликвидации разлива на дне Мексиканского залива в виде биогенного слоя. «Главный седиментационный итог разлива, — пишет автор, — тонкий слой темных илстых отложений с повышенным содержанием органического вещества нафтогенной природы» [4. С.22]. Далее следует утверждение, что агрегаты остаточной нефти в нем очень похожи на выделения битумоидов в квар-

цевых сланцах Швеции и ордовикских сланцах Прибалтики, что они обогащены легкими изотопами углерода так же, как черносланцевые образования, и содержат близкий набор элементов-примесей (Ni, V, Co, Pb, Cu, As, Hg, U, Mo и др.). Завершает описание вывод: «Аварийные выбросы нефти вполне могут рассматриваться как аналоги природных очагов разгрузки углеводородов», а эти последние, в свою очередь, могут служить причиной формирования толщ черных сланцев [4. С.33].

Оценивая эту новую модель сланцеобразования, следует прежде всего подчеркнуть, что огромное количество современных естественных выходов нефтяных углеводородов на суше и в морях стало известно главным образом потому, что нефтяники не различают разгрузки углеводородных газов (сипов, метановых источников, газогидратов, УВ-потоков) и жидкой нефти.

Между тем, если сравнить их распространенность, станет ясно, что выходы собственно нефтяных источников весьма невелики и ограничиваются узкими нефтеносными площадями. По данным Р.Д.Вильсона с соавторами [25], в Мировом океане насчитывается около 190 естественных выходов нефти, поставляющих в морскую воду всего лишь 0.6 млн т/год органического углерода ( $C_{орг}$ ).

По подсчетам Е.А.Романкевича [26], фитопланктон ежегодно отдает в океан 30000 млн т  $C_{орг}$ , подводные вулканы — 10 млн т, а деятельность человека, включая техногенные катастрофы, — примерно 5 млн т  $C_{орг}$ . Последнее значение хорошо согласуется с данными самой Беленицкой, согласно которым техногенные нефтяные катастрофы с 1970 до 2010 г. внесли в океан только 2 млн т нефти.

По данным профессора Российского государственного университета им.И.М.Губкина С.Хаджиева, мировые запасы углеводородов включают в себя

820 млрд т тяжелой нефти и 180 млрд т легкой. По сравнению с такими количествами природные самоизлияния жидких углеводородов на суше и в море ничтожны. Причина этого очевидна.

Атмосфера Земли содержит 75.5% азота и 23.01% кислорода; кроме того, огромное количество кислорода содержится в водах Мирового океана и в поровых водах верхней оболочки стратисферы.

Нефть представляет собой восстановительную среду. При прямом или микробиологическом взаимодействии с кислородом (или с окислителями типа  $SO_4^{2-}$ ) она окисляется. В ней возрастает количество тяжелых эпинафтидов (мальт, асфальтов, асфальтитов, керитов и др.), и она теряет свою миграционную способность — легкость проникновения в поры пород, трещины и каверны. С течением времени и по мере развития окисления (а в нем обычно принимают участие разнообразные сообщества микроорганизмов) в порах и трещинах образуются кольматации и пробки, препятствующие свободному самоизлиянию. Нефтяные залежи запечатывают сами себя.

Получается, что кислородная оболочка Земли предохраняет сушу и море от массовой нефтяной экспансии и по существу ограждает человечество от нефтяных катастроф. Только интенсивное бурение скважин, жадность и неквалифицированность специалистов вызывают техногенные прорывы нефти на поверхность (или в море), ее самовозгорание и аварии. Однако вряд ли эти явления могли происходить в геологическом прошлом.

Обращают на себя внимание и огромные масштабы процессов сланцеобразования в геологической истории нашей планеты. Так, например, черные сланцы вендско-кембрийского времени (особенно типичные для древних осадочных толщ Евразии) образовывались на протя-

жении 6 млн лет и располагались на площади более 2 млн км<sup>2</sup>\*. Эта эпоха сланцеобразования реализовалась в пределах Южного Казахстана, Тянь-Шаня, Приморья, на Сибирской платформе, в Северной Корее, КНР и даже в Западной Европе. По сравнению с этими грандиозными геологическими проявлениями техногенные катастрофы Мексикан-

\* Расчеты возраста и распространения черных сланцев в связи со сложностью стратиграфических сопоставлений довольно условны; они, скорее, отражают порядок оценок.

ского залива — мелкие и мгновенные неприятности.

Верхнедевонская эпоха накопления черных сланцев охватила Приуралье (Россия), Днепровско-Донецкий авлакоген (Украина), рудные районы Мансфилда (Германия), штаты Теннесси, Кентукки, Алабама, Канзас, Оклахома, Арканзас (США). Она продолжалась около 4 млн лет и заняла площади, превышающие 1 млн км<sup>2</sup>.

Наконец, верхнеюрское аноксическое событие (последняя глобальная эпоха сланцеобразования) проявилось в пределах За-

падно-Европейской платформы и на Западно-Сибирской низменности. Оно продолжалось примерно 4 млн лет и также реализовалось на площади более 1 млн км<sup>2</sup>.

Не вызывает никакого сомнения, что все упомянутые грандиозные геологические события никак нельзя связать с образованием тонкого слоя органического ила на дне Мексиканского залива. Здесь Беленицкая по существу повторила методическую ошибку Неручева — подняла на щит причину, несоизмеримую с грандиозными следствиями. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 05-05-64033.**

## Литература

1. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. М., 1977.
2. Холодов В.Н., Недумов Р.И. Рудообразующее значение черных сланцев (на примере фосфатных и марганцевых руд) // Литология и полез. ископаемые. 2011. №4. С.362—395.
3. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л., 1982.
4. Беленицкая Г.А. Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога // Природа. 2010. №2. С.25—34.
5. Беленицкая Г.А. Мексиканский соляно-нефтяной реактор // Природа. 2011. №3. С.18—31.
6. Батурин Г.Н. Уран в современном морском осадкообразовании. М., 1975.
7. Волков И.И. Основные закономерности распределения химических элементов в толще глубоководных осадков Черного моря // Литология и полез. ископаемые. 1973. №2. С.3—32.
8. Батурин Г.Н., Коченов А.В., Шимкус К.М. Уран и редкие металлы в колонках донных осадков Черного и Средиземного морей // Геохимия. 1967. №1. С.3—41.
9. Страхов Н.М. Горючие сланцы зоны Perisphinctes Panderi d'Orb. Очерк литологии // Бюлл. МОКП. Нов. сер. Т.42. Отд. геол. Т.12. №2. С.200—250.
10. Герасимовский В.И. Геохимия урана в магматическом процессе // Основные черты геохимии урана. М., 1963. С.46—70.
11. Рехарский В.И., Крутецкая О.В. Уран в породах северо-западных отрогов Северного Тянь-Шаня // Известия АН СССР. Сер. геол. 1961. №7. С.25—38.
12. Лисицин А.К. Гидрогеохимия рудообразования. М., 1975.
13. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. М., 1998.
14. Гуськова В.Н. Уран. Радиационно-гигиеническая характеристика. М., 1972.
15. Bates T.E., Strahl E.O. Mineralogy and chemistry of uranium — bearing black shales (доклад № 1910, США) // Тр. Второй межд. конф. по мирн. исп. атомной энергии. Изд-во ООН, 1959. P.93—99.
16. Ku T.Z. An evaluation of the  $U^{234}/U^{238}$  method as a tool for dating pelagic sediments // Journ. Geophys. Res. 1965. V.70. №14. P.34—57.
17. Miyake Y., Sarubasbi K., Sugi mura Y. Biochemical balance of natural radioactive elements in the ocean // Rec. Oceanogr. Works. New Series. 1968. V.9. №2. P.179.
18. Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. М., 1983.
19. Кисляков Я.М., Щеточкин В.Н. Гидрогенное рудообразование. М., 2000.
20. Vail P.Q., Mitchum R.M., Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level part: Global cycles of relative changes of sea level // Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol. 1977. V.26. P.83—97.
21. Ронов А.Б. Стратисфера или осадочная оболочка Земли (количественное исследование). М., 1993.
22. Холодов В.Н. Постседиментационные преобразования в элизионных бассейнах. М., 1983.
23. Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса. М., 2006.
24. Холодов В.Н. Элизионные системы Днепровско-Донецкого авлакогена // Литология и полез. ископаемые. 2011. №6. С.568—590.
25. Wilson R.D., Monaghan P.H., Osanik A et al. Natural marine oil seepage // Science. 1974. V.184. №4139. P.28—64.
26. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М., 1977.



# Корольковая пеночка — маленький гений большого вокала

*Приходилось признать, что объем его памяти не имеет ясных границ.*

А.Р.Лурья

В.В.Иваницкий, И.М.Марова

Искусство вокала подразумевает умение запоминать слова и мелодию, а затем исполнять все услышанное наизусть. Память иных людей кажется беспредельной. Истинным чудом выглядят некоторые эпизоды, когда музыкальная или словесная информация в немалом объеме запоминается исключительно со слуха. Известно, что юный Моцарт, прослушав однажды в Сикстинской капелле знаменитый псалом «Мизерере» Аллегри, исполняемый здесь лишь дважды в год на Страстной неделе, в тот же день по памяти практически безошибочно записал произведение, ноты которого свыше 100 лет хранились Ватиканом в величайшем секрете. Историки и филологи знают немало случаев бесписьменного заучивания религиозных и фольклорных произведений колоссального объема и чрезвычайной сложности, а классики психологии оставили описания феноменальных способностей выдающихся мнемонистов, с невообразимой легкостью запоминавших со слуха даже самые бесвязные высказывания экспериментаторов — притом едва ли не мгновенно и почти на неограниченное время.

А как обстоит дело со слуховой памятью и вокальным обучением у животных? Ведь среди

© Иваницкий В.В., Марова И.М., 2012



**Владимир Викторович Иваницкий**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры зоологии позвоночных биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Специалист в области сравнительной этологии и биоакустики.



**Ирина Михайловна Марова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же кафедры. Область научных интересов — систематика, микроэволюция, биоакустика.

них известны незаурядные мастера вокала, выступления которых даже повелось называть песнями? Всем нам привычно употреблять это название применительно к певчим птицам, однако зоологи привержены более широкому толкованию и полагают, что «поют» не только пернатые, но и кузнечики, цикады, сверчки, лягушки, киты и многие другие животные, использующие для общения друг с другом акустический канал

связи. С этой точки зрения песня — универсальный сигнал широкого вещания, информирующий о принадлежности исполнителя к определенному виду и привлекающий к нему особей противоположного пола. Обычно это самый исполняемый, самый громкий и, главное, самый сложный по своей структуре сигнал в акустическом репертуаре вида.

В этой статье мы рассмотрим проблемы сложности акустиче-

ской сигнализации и слуховой памяти у животных на примере наших исследований вокального поведения корольковой певички (*Phylloscopus proregulus*) — одной из интереснейших певчих птиц. Мы полагаем, что изложение наших результатов станет более содержательным, если предпослать ему краткое изложение современных взглядов на проблему вокального обучения у животных, тем более что к этой теме ныне приковано внимание не только зоологов, но и специалистов гуманитарных наук.

### Кто может научиться петь?

Хотя петь умеют многие живые существа, даром вокального обучения наделены лишь избранные. Среди млекопитающих мы — едва ли не единственные. Даже наши близкие родичи обезьяны — существа на редкость голосистые, обладающие сложной системой акустической сигнализации, — почти не могут заучивать и повторно воспроизводить звуки. Лишь совсем недавно способность к вокальному обучению открыли у касаток и некоторых других китообразных.

Среди пернатых также повезло отнюдь не всем. Запоминать со слуха и затем в точности повторять акустические тексты разного объема и сложности могут лишь певчие птицы, попугаи и, как ни странно, колибри. Голосовой аппарат этих избранных эволюции позволяет им издавать самые разнообразные звуки, а головной мозг содержит особые нейронные образования, обеспечивающие восприятие, запоминание и воспроизведение вокальных конструкций.

Все остальные птицы, как и прочие животные, полагаются исключительно на врожденные программы воспроизведения звуков. Многим из них присуща отличная слуховая память, но она не подкреплена способностью копировать внешние во-

кальные модели. Однако в нужное время и в нужном месте обезьяна завизжит или захихикает, цаикада застрекочет, лягушка заквакает, лев зарычит, а кошка замяукает, даже если они никогда в жизни не слышали, как это делается. Партитуры вокальных выступлений подобного рода присутствуют в генетической памяти исполнителя уже в момент его появления на свет и в неизменном виде сохраняются на протяжении всей жизни.

Но вовсе без генетики и врожденных программ не обходится даже у животных, сполна посвященных в секреты вокального обучения. Скорее всего, и мы с вами, уважаемые читатели, тоже не составляем исключения. Наум Хомский, один из столпов мировой лингвистики, в свое время вызвал настоящее землетрясение в недрах этой науки, выступив с идеей о том, что всякий младенец появляется на свет, вооруженный знанием универсальных основ грамматики и синтаксиса человеческой речи. По мысли Хомского, врожденная языковая компетенция представляет собой одну из тех биологических особенностей вида *Homo sapiens*, которая наряду со всеми прочими, например способностью к прямохождению, отличает его от остальных живых существ. Идея «врожденной грамматики» объяснила многое, и прежде всего позволила понять, каким образом все здоровые дети в поразительно короткое время и притом, в сущности, абсолютно самостоятельно начинают говорить на родном языке, а глухонемые — общаться друг с другом на языке жестов.

### Чувствительный период

Выстояв под лавиной критики, идеи Хомского утвердились в качестве одной из парадигм современной лингвистики и, сверх того, пользуются ныне огромной популярностью далеко за ее пределами.

Вот и многие орнитологи, изучающие секреты пения пернатых, к этим идеям питают большую симпатию, памятуя об удивительном сходстве процессов становления человеческой речи и птичьей песни в онтогенезе. Похоже, оба эти процесса имеют двойную природу, будучи зависимы и от врожденных факторов, и от обучения. Хотя акустическая основа птичьей песни предопределена генетически, ее окончательное звучание устанавливается на путях ученичества, когда юная птица, едва покинув родное гнездо, молчаливо внимает выступлениям взрослых вокалистов и прилежно их запоминает. Петь в эту пору она даже не пытается. Все услышанное запечатлевается в форме ментального образа видоспецифической песни, который часто называют матрицей. Пройдет примерно полгода, и эта матрица станет тем образцом, с которым взрослеющая птица станет сравнивать свои первые вокальные опыты, добиваясь полного сходства с моделью, запечатленной в раннем детстве.

Чувствительный период, на протяжении которого возможно запечатление песни, у многих певчих птиц очень короткий. Обычно это несколько первых недель самостоятельной жизни. Как тут не вспомнить о том, что и ребенку для быстрого и легкого постижения основ родного языка отпущены крайне ограниченные сроки. Анналы психологии и лингвистики переполнены примерами того, с какими затруднениями, подчас непреодолимыми, проходит обучение речи у людей, почему-либо лишенных такой возможности в раннем детстве. Тут не обойтись без помощи медиков, психологов и лингвистов. А в нормальной обстановке ребенок самостоятельно к двум-трем годам овладевает родным языком и, более того, легко становится двуязычным, если, например, маме и папе приходит на ум фантазия об-

щаться со своим чадом на разных языках. Можно лишь посетить на сугубую краткость этой чудесной поры: кто из нас не помнит, каких трудов стоит постижение иностранного языка уже в школьные годы?

### Счастливая встреча

Как много в науке зависит от удачного выбора объекта исследования! Отправляясь на полевые работы в горную тайгу Восточных Саян, мы не предполагали, что нас ожидает поистине счастливая встреча. Места там глухие, буреломные, полно клещей, комаров и, между прочим, медведей. Свечками тянутся к небу пихты, возносят тяжеловесные кроны могучие кедры, громоздится валежник, колышутся седые пряди лишайников, мягкие мхи сплошь укрывают землю и упавшие древесные стволы. Хмурая, холодная и сырая кедрово-пихтовая тайга небогата птицами, но именно здесь поселилась корольковая пеночка — главный герой нашего рассказа, один из самых удивительных представителей мира пернатых (рис.1,2).

Начать можно с того, что корольковая пеночка принадлежит к числу самых маленьких птиц мира, ее масса тела — 4,5—5,0 г. В сущности, это почти колибри среднего размера. Тем более удивительно выглядит весь комплекс ее вокального поведения. Азартность, звучность и чарующую красоту ее пения отмечали все наблюдатели. Громкость голоса и неутомимость этой крохи поразительны. В безветренную погоду в глухой тайге человек со средним слухом отчетливо слышит ее пение за 150—200 м. Самцы заботой о потомстве себя не обременяют и все лето с рассвета до темноты распевают, устроившись на самых макушках, причем каждый всегда поет на строго определенном дереве. Вокальные сессии длительностью 10—12 мин сменяются короткими



Рис.1. Корольковая пеночка — сладкоголосый эльф сибирской тайги, мечта биоакустика, превосходный модельный объект. Записывать ее — редкое удовольствие. Всего-то дел — терпеливо стоять под деревом с устремленным в зенит микрофоном и следить, чтобы в магнитофоне не кончилась карта памяти. Каждый самец все лето поет на одном и том же дереве, поэтому нет никакой нужды метаться по тайге, спотыкаясь о валежник, собирая клещей и рискуя нектати потревожить угрюмого хозяина здешних мест.

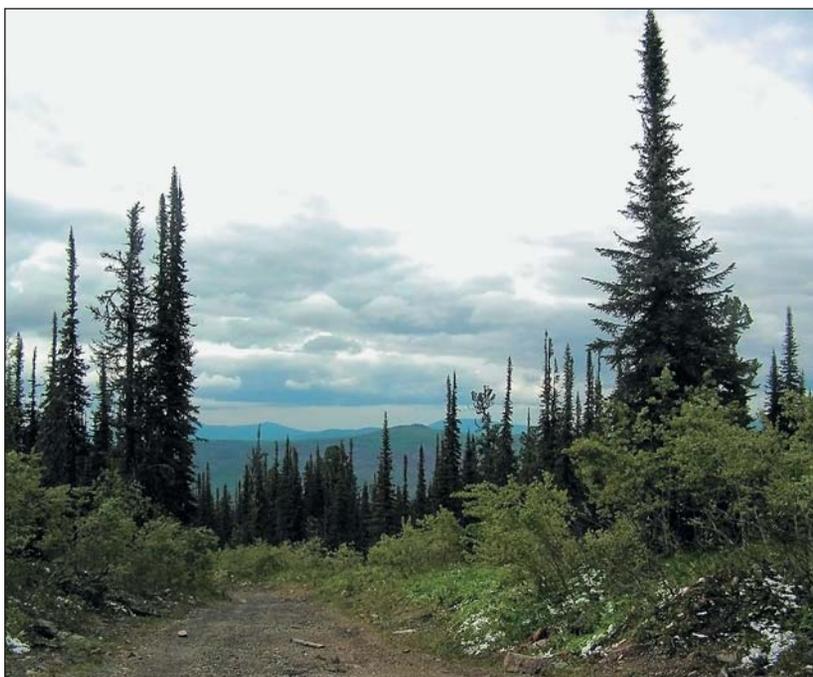


Рис.2. В Саянской тайге летний снег не в диковинку, однако даже в самые сильные холода корольковые пеночки продолжают распевать как ни в чем не бывало.

паузами (5—6 мин), после чего самец возобновляет пение на прежнем месте. Верность постоянным местам пения самцы хранят на всем протяжении концертного сезона — на удивле-

ние длинного, ибо корольковые пеночки прилежно поют вплоть до середины августа, тогда как все прочие таежные птицы завершают свои выступления примерно за месяц до этого.

## Песня на экране компьютера

Вернувшись с полевых работ, орнитолог усаживается за компьютер, который позволяет не только слышать, но и видеть птичью песню. На экран она является в облике особого изображения — сонограммы, и выглядит как прихотливый черно-серый узор на белом фоне, составленный из разных фигур. Их часто называют нотами, и многие сонограммы внешне действительно отчасти напоминают нотную запись. Каждая нота, как ей и положено, отделена от всех прочих промежутками, повторяется по ходу вокальной сессии многократно и притом в абсолютно неизменном виде. Разнообразие нот и способов их группирования друг с другом бывает весьма впечатляющим, поэтому даже многочасовое разглядывание сонограмм никогда не наскучивает. Но временами — особенно ближе к ночи, начинает казаться, что причудливая вязь значков на экране скрывает некое тайное послание, и тогда чувствуешь себя почти Жаном Франсуа Шампольоном, сидящим перед легендарным Розеттским камнем за минуту до того, как будет раскрыта тайна древнеегипетской письменности.

Итак, ноты птичьей песни представляют собой те элементарные кирпичики, из которых складываются разнообразные вокальные конструкции, которые, в свою очередь, тем или иным образом объединяются друг с другом. В этом отношении птичьи ноты ничем не отличаются от настоящих нот, а также букв или фонем, которые на пути взаимного объединения в конечном итоге оборачиваются музыкой, письменным текстом или устной речью. Во всех этих случаях мы имеем дело с сигнально-информационными системами, построенными на основе синтаксиса — свода правил, регламентирующих соединение дискретных элементов друг с другом в конструкциях разного

уровня. Подобно тому, как буквы объединяются в слова, слова — в предложения, а предложения становятся текстом, ноты птичьей песни группируются в трели, строфы, фразы и прочие вокальные конструкции разной протяженности и сложности.

Синтаксис — еще одна интригующая черта птичьих песен, которая сближает их с речью или текстом. Неудивительно, что изучение синтаксической организации песни птиц стало одним из самых бурно развивающихся направлений биоакустики, причем именно в последние годы, когда благодаря компьютерам у нас появилась возможность анализировать фонограммы практически неограниченной длительности.

И если мы проследим, как разворачивается в течение достаточного времени вокальная активность птиц, то вскоре убедимся, что почти любая из них прекрасно помнит свою вокальную партию, потому что многие комбинации нот по ходу сеанса пения повторяются многократно в неизменном виде. В этой связи возникает множество вопросов. Например, насколько сложными и протяженными бывают эти повторяющиеся конструкции? Как часто исполнители прибегают к точному копированию акустических блоков, хранящихся в памяти, а в какой степени используют импровизацию? Какова мера упорядоченности пространственных и сложных акустических текстов, типичных для рекламной вокализации некоторых видов? И наконец, насколько часто и в каком объеме одинаковые вокальные структуры присутствуют в репертуаре разных исполнителей — принадлежащих одному локальному поселению или обитающих на значительном удалении друг от друга?

### Разделяй и властвуй...

Какие же ответы на эти вопросы приготовила корольковая пеночка? На слух ее пение воспри-

нимается как непрерывная черед громких, звонких и очень разнообразных трелей, быстро сменяющих друг друга. Больше всего оно напоминает, пожалуй, залиvistое пение полевого жаворонка. Типичный образец вокала корольковой пеночки изображен на сонограмме\* (рис.3). Расположение, состав и продолжительность всех вокальных компонентов в точности соответствует фонограмме\*\*, но ради компактности изображения все паузы между ними сокращены до минимума.

Объемы индивидуальных репертуаров впечатляют. Число разных вокальных компонентов — главным образом всевозможных трелей — у одного исполнителя всегда переваливает за две сотни и доходит до 250—270. Заметим, что это на порядок больше, чем у прославленного восточного соловья и, как считают, соответствует первоначальному запасу слов, достаточному для простейших форм общения на любом языке.

Как же пеночка обращается с этим внушительным словарем? Для начала она в уме делит его на обособленные наборы, или, как выражаются математики, непесекающиеся множества. Прокручивая на экране сонограммы, мы сразу же обратили внимание на то, что разные трели исполняются по ходу песни не в случайном порядке, а явственно группируются друг с другом в особые конструкции, которые мы назвали вокальными композициями. Одна композиция может включать до 50 трелей, относящихся к 16 разным типам, а общая продолжительность ее звучания до-

\* Сонограмма (от лат. *sonus* — звук, голос и греч. *γραψα* — запись) — графическое спектрально-временное представление звука, звуковых колебаний. Применяется для идентификации речи, анализа звуков животных, в различных областях музыки, радио- и гидролокации, обработке речи, сейсмологии и др.

\*\* Фонограмма (от греч. *φωνη* — звук и *γραψα*) — запись, сохраненная на звуковом носителе.

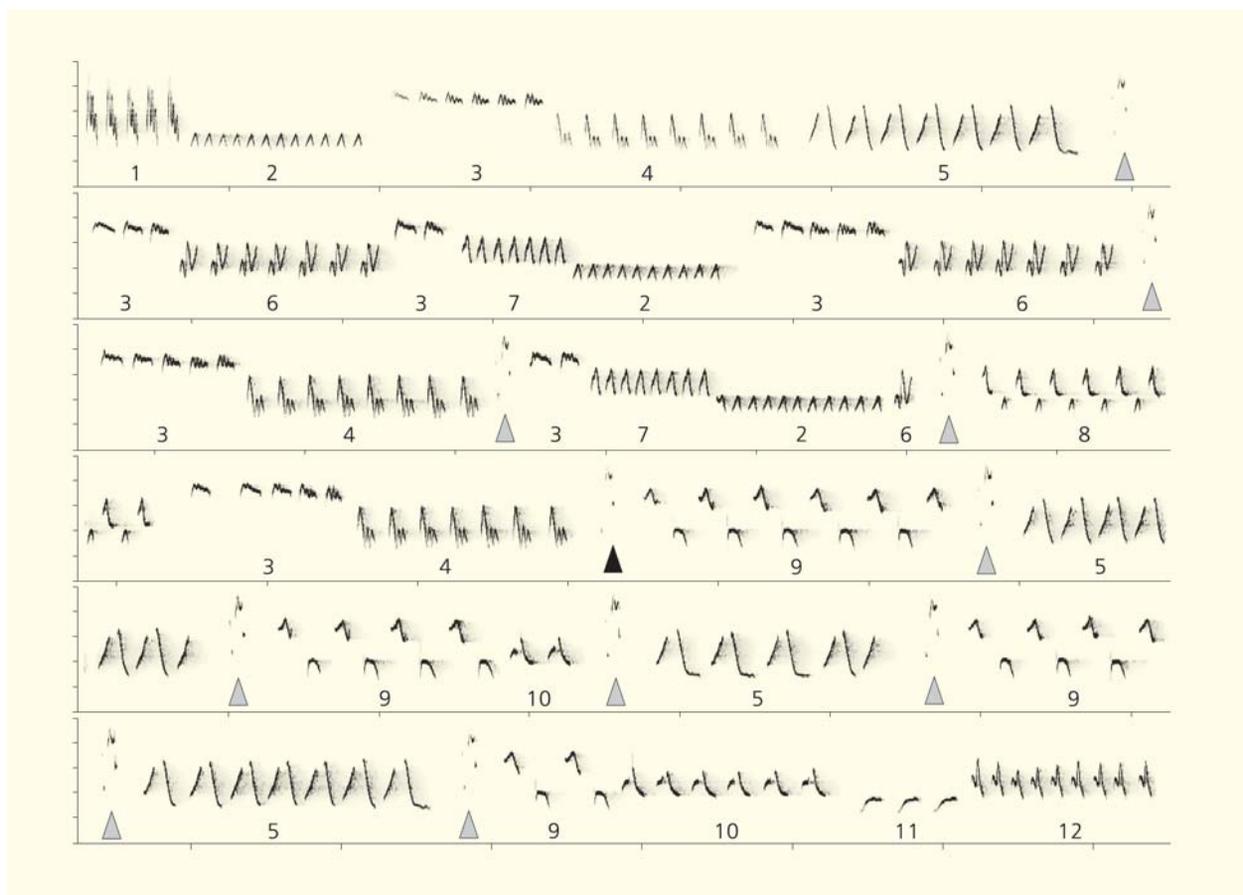


Рис. 3. На этой сонограмме изображен участок стыка двух вокальных композиций корольковой пеночки. Границу между ними указывает черный треугольник. Одно деление на горизонтальной шкале соответствует 1 секунде, на вертикальной шкале — 2 килогерцам. Цифрами обозначены разные типы трелей. По ходу исполнения одинаковые трели повторяются, но не подряд, а чередуются с другими компонентами данной композиции. На стыках композиций их компоненты иногда отчасти перемешиваются, как это можно видеть на примере первого исполнения трели 5. Серые треугольники маркируют стереотипные, периодически повторяющиеся короткие и тихие звуки — неперенный атрибут песни корольковой пеночки. У всех самцов они одинаковы, но частота их исполнения заметно варьируется. Это единственный вокальный элемент, который присутствует во всех без исключения композициях.

стигает 65 с. Все композиции (даже однотипные, т.е. составленные из одинаковых компонентов) чем-то обязательно отличаются друг от друга, потому что порядок исполнения разных трелей произволен и меняется даже по ходу исполнения одной композиции.

Итак, композиция представляет собой особое структурное подразделение песни корольковой пеночки, в основе которого лежат устойчивые ассоциативные связи между разными вокальными компонентами (трелями). Порядок и кратность их исполнения составляют предмет импровизации, т.е. произвольно

меняются. Если, допустим, композиция содержит ноты А, Б, В и Г, сгруппированные в трели АААА, ББББ, ВВВВ и ГГГГ, то они могут исполняться как в разном порядке (например, ААААББББ-ВВВВ-ГГГГ или ВВВВ-ГГГГ-АААА), так и в разном числе (например, А-ББ-ВВВВ-ГГГГ или АА-АА-ББББ-В-ГГ). Таким образом, при исполнении композиций типичны перестановки компонентов, но лишь в рамках данного набора, т.е. при постоянном составе ассоциированных в памяти вокальных компонентов. Это яркий пример комбинаторного синтаксиса, типичного для языков с произвольным поряд-

ком слов в предложении. Известно, что смысл высказываний «мама моет раму» или «кошка ловит мышь» от перестановки слов не изменяется. Переставляя эти слова всеми возможными способами, получаем два непересекающихся множества, каждое из которых можно назвать особым «типом предложений». Именно принцип перестановок компонентов в рамках их фиксированного набора и лежит в основе построения вокальных композиций у корольковой пеночки. По нашим подсчетам, индивидуальный репертуар самца включает до 20 разных композиций, устойчиво повторяющихся по

ходу пения. Каждая из них состоит из многих вокальных компонентов, которые перемешиваются друг с другом, но, как правило, не объединяются с компонентами из других композиций, т.е. возвращаясь к нашему примеру, гибридные варианты типа «мама ловит мыш» или «кошка моет раму» — пеночки не исполняют.

**От импровизации к стереотипу**

Композиции — протяженные и сложные вокальные структуры, запоминание которых (да еще и в немалом количестве), требует отличной памяти. Но способности корольковых пеночек на этом не исчерпываются. Оказалось, что их память хранит информацию не только о составе вокальных композиций, но и об очередности их исполнения по ходу вокальных сессий. И самое поразительное состоит в том, что на этом, более высоком, уровне организа-

ции песни пеночки отказываются от всякой комбинаторики и решительно заявляют о своей приверженности принципам строгого детерминизма. Иными словами, каждый самец всегда исполняет разные композиции не вперемешку, а по строгой очереди. В результате по ходу сеанса пения раз за разом повторяются чрезвычайно сложные и длительные вокальные конструкции, которые мы решили называть программами (рис. 4). Например, репертуар самца А содержал четыре программы, при этом три из них отличались строгой очередностью исполнения композиций, тогда как в четвертой допускались реверсии. По ходу пения этот самец дважды (с промежутком 7 мин), исполнил программы общей продолжительностью 245 и 274 с, состоявшие из композиций 1—10. Порядок и даже длительность исполнения каждой композиции совпадали при этом едва ли не в точности. У самца Б можно наметить целых шесть программ, однако

в его пении немало не связанных с другими композиций и, следовательно, определенным программам не принадлежащих. Любопытно, что оба самца могут исполнять программы по частям. Хотя исполнение может стартовать или оборваться с любой композицией, их очередность, как правило, остается неизменной.

**Глухими таежными тропами...**

Во время экспедиции мы записывали пеночек в разных местах. Сравнивая пение разных самцов из популяций, удаленных одна от другой на расстояние от 80 до 230 км, мы убедились в поразительном сходстве их индивидуальных репертуаров, причем на всех уровнях организации песни. Уже беглый просмотр индивидуальных каталогов вокальных компонентов (трелей) убеждает в том, что у разных исполнителей они перекрываются в очень большой степени, при-

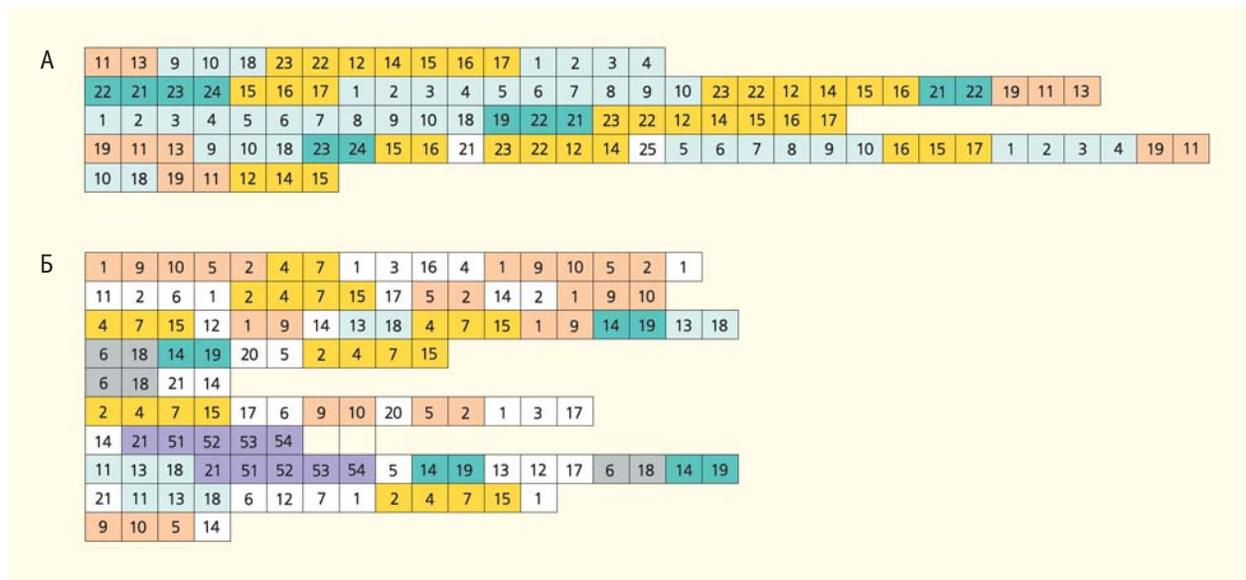


Рис. 4. Образцы программ в пении двух самцов (А и Б). Каждый квадратик с цифрой соответствует одной композиции (чисто рабочая нумерация), одинаковые программы и их фрагменты выделены цветом. Порядок исполнения композиций читается слева направо, строки также расположены в соответствии с порядком их исполнения (сверху вниз). Белые квадратики соответствуют композициям, не принадлежащим определенным программам или же в данном месте вокальной сессии исполняемым обособленно (поодиночке). Каждая строка соответствует одному эпизоду непрерывного пения, отделенного паузами более 5 мин. Мы полагали, что после такого перерыва исполнение песни всегда начинается с чистого листа и никак не связано с предыдущей вокализацией.

вокальные компоненты	самцы														вокальные компоненты	самцы													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	J	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
B	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	K	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	L	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
D	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	M	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
E	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	N	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
F	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	O	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
G	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	P	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
H	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Q	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
I	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	R	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Рис. 5. Присутствие разных вокальных компонентов, образующих одну композицию, в репертуарах самцов из разных популяций. Темный прямоугольник — компонент исполняется только по ходу данной композиции, белый прямоугольник — компонент присутствует в репертуаре, но исполняется вне данной композиции.

чем на всем пространстве, которое нам удалось обследовать. Многие типы трелей в сущности универсальны и присутствуют в репертуаре если не всех, то большинства самцов.

Но наше удивление стало безмерным, когда в репертуарах самцов из разных популяций обнаружили вдруг одинаковые вокальные композиции (рис.5). На рисунке приведены изображения 18 вокальных компонентов, образующих одну из широко распространенных композиций. Чем объяснить ее невероятную популярность, мы не знаем. Однако с разной степенью полноты ее исполняли 14 самцов: из заповедника «Столбы» (самцы 1, 2, 3), с автотрассы Красноярск — Абакан западнее Дивно-

горска (самцы 4, 5, 6), из Кутурчинского Белогорья в Восточном Саяне (самцы 7, 8, 9, 10, 11) и с Енисейского кряжа (самцы 12, 13, 14). Ключевые компоненты этой композиции (А, В, К) исполняли 13 самцов, компоненты D, E, R — 11 самцов, реже других исполнялись компоненты G и O (четыре самца). В целом из 18 типов вокальных компонентов, составляющих данную композицию, 14 были встречены во всех четырех популяциях. Самцы 5 и 10, обитавшие примерно в 150 км друг от друга, исполняли 12 общих компонентов. Самцы 10 и 14 жили на удалении 230 км один от другого и исполняли 9 общих компонентов.

Подобные проявления сходства бросают настоящий вызов

нашим представлениям о механизмах запоминания и распространения вокальных моделей у певчих птиц. Где в тайге пролегли те тайные тропы, по которым из одной популяции в другую практически в неизменном виде и, заметим, на очень приличное расстояние (десятки и сотни километров) кочуют целые вокальные композиции — сложные конструкции, объединяющие множество самых разных составляющих элементов? Они определенно не могут храниться в генетической памяти птиц, хотя бы потому, что в репертуаре некоторых исполнителей их все же не бывает. И, следовательно, наиболее вероятным путем их распространения должна быть признана класси-

ческая эстафета обучения. Как показали исследования, проведенные на многих видах певчих птиц, к этому виду спорта привержены исключительно молодые особи. Обычно молодежь запечатлевает песни поблизости от места рождения, однако следующим летом, как правило, приступает к своему первому гнездованию на значительном удалении, способствуя тем самым территориальной экспансии напевов своей родины.

\* \* \*

Вокальное мастерство королевской пеночки выглядит экстраординарным. Ее песня представляет собой один из самых сложных акустических текстов, известных в настоящее время у пернатых. Ну а память этого маленького гения вокала, похоже, и в самом деле «не имеет ясных границ». Пеночка непринужденно оперирует огромным фонетическим разнообразием, прихотливым синтаксисом, но главное — запоминает со слуха и включает в собственный репертуар сложнейшие вокальные конструкции, заимствованные у других исполнителей.

Голосистая крошка смело вторгается в те области вокала, куда редко заглядывают прочие пернатые исполнители. В частности, она в совершенстве владеет приемами импровизации и может исполнять по существу бесконечное число вокальных произведений (композиций) из сугубо ограниченного набора исходных компонентов. С лег-

кой руки все того же Хомского своды правил, позволяющие носителю языка составлять и понимать бесконечное множество предложений, состоящих из конечного числа слов, лингвисты стали называть «порождающими» грамматиками. Вокальное творчество королевской пеночки можно было бы посчитать красивой «структурной аналогией языка», если бы составляющие компоненты и правила их комбинирования были одинаковы для всей песни. Но получается так, что каждая вокальная композиция имеет свой «словарь» и свою «грамматику» и, таким образом, формально представляет собой особый «язык». Так что в действительности королевская пеночка попеременно поет на многих «языках».

Но это всего лишь одна из сторон творчества королевской пеночки, в котором талант импровизатора удивительным образом дополняется способностью следовать строгому канону. Хаос внутри композиции, где разные трели перемешаны друг с другом едва ли не случайным образом, сменяется строгим порядком на следующем уровне организации песни, когда исполнитель аккуратно выстраивает одну за другой уже даже не простые трели, а сложные и протяженные вокальные конструкции, включающие десятки разнообразных компонентов. Королевскую пеночку можно уподобить певцу-полиглоту, который, не утруждая себя запоминанием порядка куплетов, решил, однако, что после ан-

глийской песни всегда следует спеть по-французски, затем — непременно по-испански, потом — по-итальянски и, наконец, порадовать восхищенных слушателей напевной русской песней.

Какой же биологический смысл таит в себе почти невероятная сложность пения королевской пеночки? Зачем богатейший «словарь» и сложный синтаксис понадобились для функционирования сигнально-коммуникативной системы, лишенной даже намека на семантику? Быть может, это всего лишь эффект «хвоста павлина», и над вокалом королевской пеночки основательно потрудились половой отбор? Брачные песнопения — это ведь, в сущности, то единственное, что позволяет самкам судить о достоинствах легкомысленных менестрелей, вовсе равнодушных к судьбе собственного потомства. Но способны ли самки с достаточной точностью оценивать все нюансы пения самцов с тем, чтобы заводить птенчиков лишь от самых умелых исполнителей? И достанет ли им терпения для такого оценивания? Ведь для вдумчивого, истинно конкурсного прослушивания каждого претендента — с учетом всех уже известных нам особенностей пения королевской пеночки — потребуется изрядное время. Признаемся честно, мы пока не знаем ответов на все эти вопросы, но вполне возможно, что они составят предмет наших дальнейших исследований. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 10-04-483-а.**

# Солнечные батареи, сенсibilизированные красителем

С.И.Беззубов, В.Д.Долженко

**М**атериально-технический прогресс человечества требует огромных затрат энергии. В настоящее время потребность в ней удовлетворяется в основном за счет ископаемых источников: нефти, природного газа, каменного угля. Все они невозобновляемы, а кроме того, пагубно влияют на состояние окружающей среды. В связи с этим в развитых странах уже давно и всерьез рассматриваются альтернативные источники энергии. Не перечисляя их здесь, отметим главное: самый мощный и неисчерпаемый источник энергии — это Солнце с его  $3 \cdot 10^{24}$  Дж, поставляемыми ежегодно нашей планете. Эта колоссальная величина в 10 тыс. раз превосходит нынешние годовые энергетические потребности человечества. Тем не менее до сих пор потребляется лишь 0.4% солнечной энергии, и, согласно наиболее оптимистичным прогнозам, эта доля может возрасти не более чем до 1% к 2030 г. Столь незначительное использование солнечного излучения связано с тем, что пока не существует эффективного и дешевого способа его преобразования в электричество.

Первыми, в 1954 г., были сконструированы фотоэлементы на основе монокристаллического кремния. Они оказались

© Беззубов С.И., Долженко В.Д., 2012



**Станислав Игоревич Беззубов**, аспирант кафедры неорганической химии химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Научные интересы связаны с координационной химией платиновых металлов.



**Владимир Дмитриевич Долженко**, кандидат химических наук, старший преподаватель той же кафедры. Область научных интересов — химия координационных соединений, электронный парамагнитный резонанс.

довольно эффективными в космическом пространстве, а также применимыми в земных условиях и сегодня занимают ведущее положение на рынке солнечной энергетики. Однако до сих пор эффективность даже лучших лабораторных образцов не превышает 25%. В то же время их цена по-прежнему очень высока, что связано в первую очередь с затратами на производство высококачественного монокристаллического кремния.

Альтернативой кремниевым батареям могут стать многокаскадные элементы, составленные из нескольких полупроводников с разными зонными характеристиками. Например, для трехкаскадного элемента GaInP/GaAs/Ge зафиксирована рекордная эффективность — 32% [1]. Тем не менее большие материальные затраты на глубокую очистку применяемых компонентов, а также явная токсичность этих материалов

пока ограничивают их выход на рынок.

Значительный успех в разработке дешевого и экологически безопасного способа освоения солнечной энергии был достигнут благодаря изобретению батарей на основе сенсibilизирующего (т.е. обеспечивающего повышенную светочувствительность) красителя (dye-sensitized solar cells — **DSC**) [2]. Данные устройства называют также ячейками Грэтцеля, по имени изобретателя. Эти элементы, так же как и полупроводниковые, трансформируют световое излучение в электрический ток. Однако принцип работы тех и других элементов различается. В полупроводниковом элементе под действием света происходит как генерация носителей заряда (электронов и дырок), так и перенос заряда (движение электронов и дырок в противоположных направлениях). Проще говоря, два процесса, обеспечивающие производство электрического тока, объединены в одном устройстве. У этой конст-

рукции наряду с очевидными преимуществами есть и существенный недостаток — высокие требования к чистоте полупроводника, влекущие за собой значительное увеличение стоимости устройства. В DSC носитель заряда (электрон) генерируется под действием излучения в специально подобранном красителе, который ковалентно закреплен на поверхности полупроводника. Затем электрон «перескакивает» с красителя на полупроводник — происходит перенос заряда. В результате процессы генерации и переноса заряда оказываются пространственно разделенными. Это очень сильно напоминает механизм природного фотосинтеза, в котором хлорофилл ответствен за поглощение света и генерацию электронов, а перенос заряда осуществляется уже другими молекулами. Поэтому ячейки Грэтцеля можно считать типичным примером искусственных фотосинтетических систем. Некоторые из них, а также теоретические аспекты фотосинтеза рассмот-

рены в недавнем обзоре В.В.Еремина [3].

Тематика DSC в основном развивается научными коллективами Европы, США и Японии. Однако такие гиганты, как Sony и Nokia, также проводят исследования в данной области. В России эта проблема пока не изучается в достаточной степени. Существует немного работ (в частности и на Химическом факультете МГУ) по отдельным компонентам DSC. Тем не менее мы считаем эти устройства весьма перспективными и планируем большую работу, направленную на улучшение и оптимизацию их свойств.

Как же устроены эти солнечные батареи и каков принцип их работы (рис.1)? В них монослой молекул красителя ковалентно связан с поверхностью мезопористого (содержащего большое количество цилиндрических пор) полупроводника, закрепленного на проводящей стеклянной пластине. Эта система образует фотоанод элемента. Фотокатод представляет собой проводящую стеклянную пластину, на которую нанесен катализатор восстановления — металлическая платина или графит. Пространство между пластинами заполнено раствором, содержащим окислительно-восстановительную пару трииодид/иодид ( $I_3^-/I^-$ ) в органическом растворителе, чаще всего в ацетонитриле. Чтобы жидкость не вытекала при работе устройства, ячейку делают герметичной.

После поглощения красителем кванта света молекула переходит из основного энергетического состояния  $S^0$  в возбужденное  $S^*$ . Краситель и полупроводник подобраны так, что возбужденный уровень красителя лежит выше нижней границы зоны проводимости (уровня Ферми) полупроводника. Поэтому электрон легко переходит в эту зону и затем через стеклянный электрод во внешнюю цепь. На фотокатоде за счет катализа платиной анион трииодида вос-

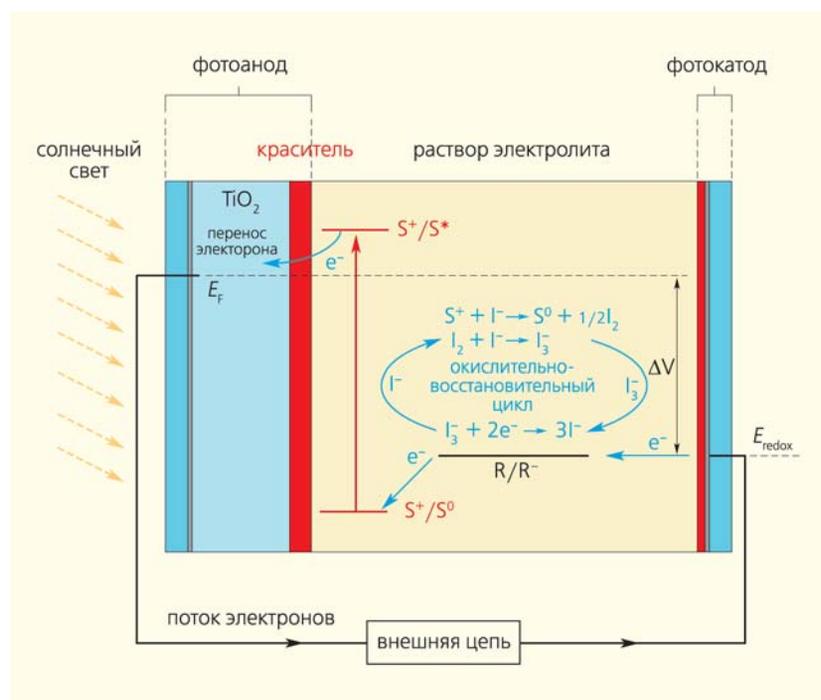


Рис.1. Строение и схема работы DSC [4].  $S^0$  — молекула красителя в основном состоянии,  $S^*$  — в возбужденном состоянии,  $S^+$  — окисленная молекула красителя,  $E_f$  — уровень Ферми полупроводника.

становляется до иодид-иона, который затем диффундирует к фотоаноду. Окисленная ранее молекула красителя  $S^+$  восстанавливается иодид-ионом, который превращается обратно в триодид-ион и диффундирует к фотокатоду, замыкая цепь.

Разность потенциалов  $\Delta V$ , которую может обеспечить данный элемент, определяется соотношением  $\Delta V = E_F - E_{\text{redox}}$ , где  $E_{\text{redox}}$  — окислительно-восстановительный потенциал используемой пары,  $E_F$  — уровень Ферми полупроводника. При использовании  $\text{TiO}_2$  в качестве полупроводника и  $\text{I}_3^-/\text{I}^-$  в роли редокс-пары удается получить  $\Delta V = 0.7$  В.

Очень важная характеристика DSC — плотность фототока  $j_p$ , которую может обеспечить элемент. Чем больше  $j_p$ , тем эффективнее работает устройство. Плотность фототока прямо пропорциональна количеству электронов, поступающих во внешнюю цепь. Последнее, в свою очередь, зависит от эффективности поглощения света красителем, т.е. от той доли фотонов, которые непосредственно переводят его молекулы в возбужденное состояние (это делает не всякий поглощенный квант света). Количество фотоэлектронов также зависит от полноты их передачи с возбужденного уровня красителя в зону проводимости полупроводника и да-

лее во внешнюю цепь. За это отвечают ковалентное взаимодействие, связывающее краситель и полупроводник, и проводящие свойства самого полупроводника. Как видно, в подобных элементах задачи производства электрического тока строго разделены между компонентами устройства. Какие же свойства позволяют им делать свою работу эффективнее?

Первым полупроводником, примененным в DSC, был анатаз — одна из кристаллических модификаций  $\text{TiO}_2$ . К его преимуществам можно отнести высокую энергию запрещенной зоны (3.2 эВ) и прозрачность для солнечного излучения. Кроме того, он термически устойчив, химически инертен, нетоксичен и относительно дешев. В DSC используют наноразмерный мезопористый анатаз. Такая морфология полупроводника позволяет размещать на его поверхности большое количество молекул красителя, что ведет к возрастанию плотности фототока. Форма частиц влияет и на проводящие свойства полупроводника. Например, проводимость нанотрубки  $\text{TiO}_2$  (рис.2) выше, чем мезопористого материала, хотя у того больше площадь поверхности. В последнее время кроме  $\text{TiO}_2$  нашли применение и другие полупроводники:  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  [5, 6].

Сенсибилизирующий краситель — главный элемент DSC. В пользу такого утверждения свидетельствует хотя бы то, что за 20 лет существования DSC подавляющее большинство публикаций на данную тему посвящено поиску новых эффективных красителей и модификации свойств уже открытых.

К красителю предъявляется ряд требований. Он должен:

- поглощать во всем видимом диапазоне спектра (400—800 нм), причем с высокими коэффициентами экстинкции;
- иметь электронное строение, которое обеспечило бы легкий переход электронов на возбужденные уровни после поглощения света;
- обладать термодинамической устойчивостью и достаточной инертностью, чтобы «выдерживать» многократные циклы окисления-восстановления при работе устройства;
- содержать функциональные группы, которые обеспечили бы прочную ковалентную связь с полупроводником.

Кроме того, энергия возбужденного состояния должна быть выше уровня Ферми полупроводника, а время жизни этого состояния — достаточным, чтобы электроны с возбужденных уровней успели «перескочить» в зону проводимости полупроводника.

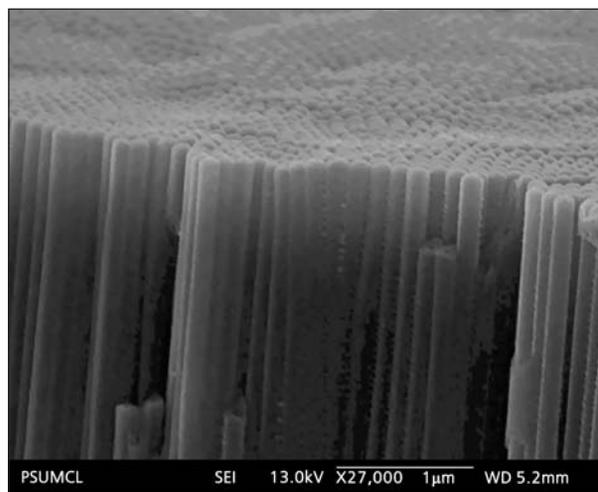
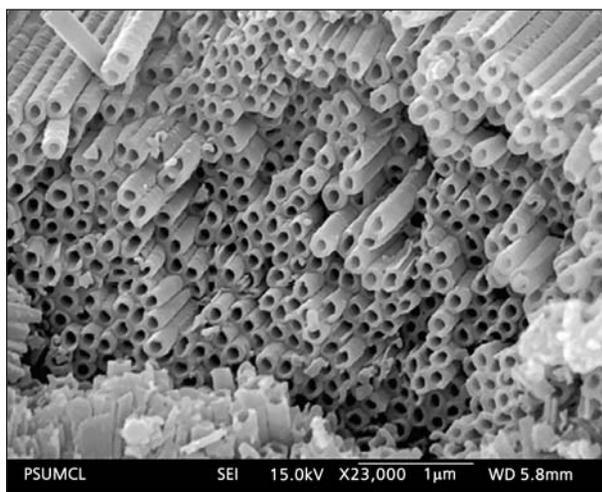


Рис.2. Микрофотографии нанотрубок  $\text{TiO}_2$ , полученные на сканирующем электронном микроскопе [6].

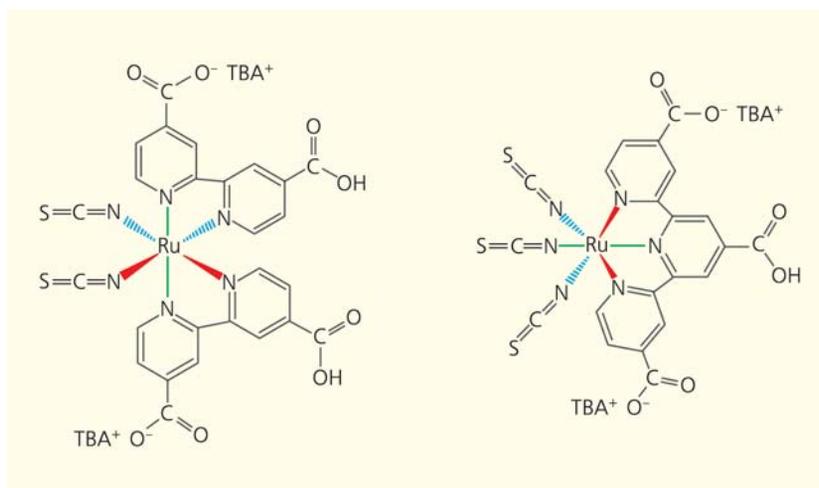


Рис.3. Строение молекул рутениевых комплексов – красителей  $[RuL_2(NCS)_2]$  и  $[Ru(L')(NCS)_3]^-$ .

Полное выполнение всех этих требований, тем более в одном соединении, вряд ли возможно, однако некоторые достижения в этой области все же существуют.

Еще 20 лет назад Грэтцелу удалось так подобрать краситель, что эффективность устройства составила 8% [2]. Он использовал комплекс рутения (II) с двумя лигандами — 2,2'-бипиридил-4,4'-дикарбоновой кислотой (**L**) и изотиоцианатом в  $[RuL_2(NCS)_2]$  (рис.3). Позднее был получен комплекс, названный «black dye» («черный краситель»), который поглощал значительную часть видимого света. Здесь вместо двух бидентатных лигандов использован один тридентатный лиганд: 2,2':6',2''-терпиридил-4,4',4''-трикарбоновая кислота (**L'**). Эффективность устройства на основе комплекса  $[Ru(L')(NCS)_3]^-$  составила 11.1% [7].

Выбор комплексов рутения(II) с данными лигандами в качестве красителей объясняется рядом причин. Во-первых, центральный ион  $Ru^{2+}$  может легко и обратимо окисляться до  $Ru^{3+}$

$$(E_{[RuL_2(NCS)_2]^+/[RuL_2(NCS)_2]} = 0.85 \text{ В})$$

относительно стандартного катодного электрода в ацетонитриле), что крайне необходимо для работы DSC. Во-вто-

рых, электронное строение комплексов обеспечивает достаточное время жизни возбужденного состояния. В-третьих, лиганды **L** и **L'** представляют собой сопряженные ароматические системы, поглощающие свет с высокими коэффициентами экстинкции. Кроме того, они координируются металлом с образованием прочных пятичленных (хелатных) циклов, увеличивая термодинамическую устойчивость комплексов. Дополнительные лиганды (изотиоцианаты) проявляют донорные электронные свойства и расширяют спектр поглощения комплексов в длинноволновую область. Большое количество карбоксильных групп обеспечивает прочное связывание комплексов с поверхностью диоксида титана.

Несмотря на массу достоинств, рутениевые комплексы не решают всех проблем, связанных с красителем. В частности, комплексы не поглощают значительную часть видимого света в его длинноволновой области (приблизительно 30%) и излучение в ближнем ИК-диапазоне. Эту проблему пытаются решить введением мощных донорных заместителей в ароматические лиганды. Однако помимо нужного сдвига полосы поглощения в длинноволновую

область спектра, это может приводить к нежелательному снижению коэффициентов экстинкции, т.е. эффективности поглощения. Другой подход основан на использовании нескольких комплексов, поглощающих в разных диапазонах спектра [7]. Так можно добиться поглощения всего видимого света. Существенный недостаток данного метода заключается в том, что он приводит к снижению плотности фототока, поскольку количество молекул красителя, которое может быть нанесено на поверхность полупроводника в виде монослоя, фиксировано и зависит от площади этой поверхности.

В последнее время исследователи рассматривают в качестве красителей довольно широкий класс объектов. Это комплексы переходных металлов, в основном платиновых, квантовые точки, сложные органические красители, супрамолекулярные ансамбли и т.п. Недавно в журнале «Science» родоначальники DSC опубликовали результаты работы, в которой применили в качестве красителей комплексы цинка с порфиринами, модифицированными донорными группами (рис.4) [8].

В представленных соединениях длинные углеводородные радикалы выступают в роли доноров, накапливающих электронной плотностью порфириновое ядро. Его сопряженная ароматическая система, расширенная дополнительными бензольными кольцами, отвечает за поглощение излучения, а карбоксильная группа — за связь молекулы с поверхностью полупроводника. Эффективность устройства на основе этих комплексов оказалась максимальной на сегодня: 12.3%.

Электролит в DSC обеспечивает перенос электронов от катода к аноду и восстановление окисленной молекулы сенсibilизатора. К электролиту предъявляется несколько требований. Необходим окислительно-восстановительный потенциал  $E_{redox}$

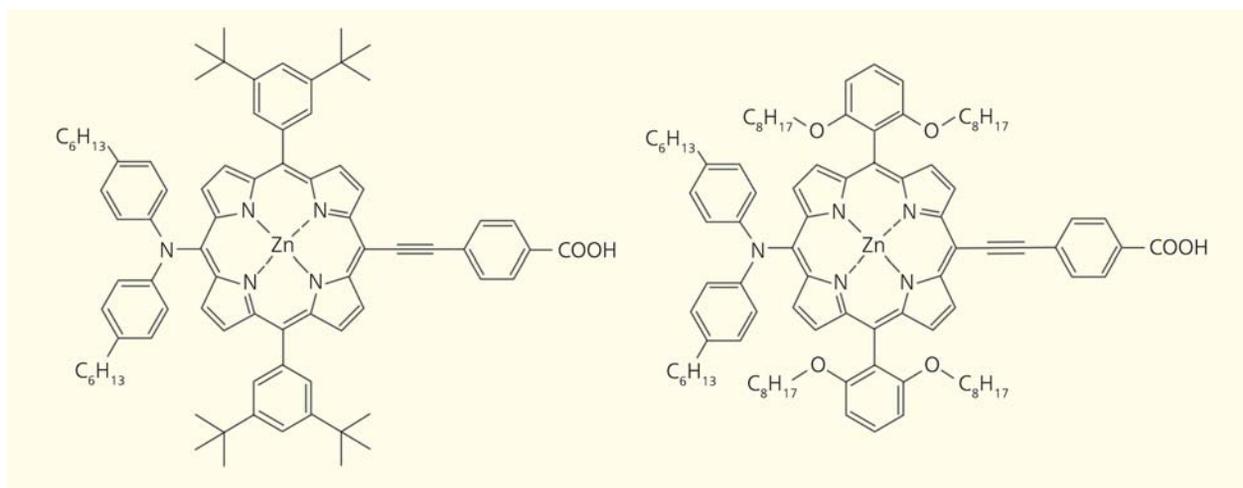


Рис.4. Примеры порфириновых красителей.

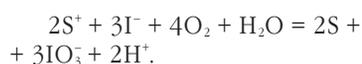
меньший, чем для красителя, чтобы процесс восстановления протекал самопроизвольно. Вместе с тем высокий  $E_{\text{redox}}$  позволяет ячейке обеспечивать большую разность потенциалов. Окисленная форма электролита должна быстро восстанавливаться на платинированном катоде, но не на поверхности полупроводника. В противном случае появится темновой ток и снижется эффективность устройства. Электролит не должен поглощать в видимой области спектра (так как это может привести к генерации свободных радикалов и различных побочных реакций) и взаимодействовать с возбужденными молекулами красителя, поскольку это уменьшает количество передаваемых на полупроводник электронов.

В определенной степени всем требованиям удовлетворяет самый распространенный в настоящее время в DSC электролит — редокс-пара трииодид/иодид ( $I_3^-/I^-$ ).

$$E_{I_3^-/I^-}^0 = 0.3-0.5 \text{ В}$$

относительно стандартного водородного электрода в зависимости от растворителя. Ион  $I_3^-$  очень медленно восстанавливается на поверхности  $TiO_2$ , так как данный процесс двухэлектронный, а адсорбция иона на полупроводнике слабая. На ка-

тоде реакция катализируется платиной и идет очень быстро. Кроме этого, электролит дешев и растворим в большинстве органических растворителей. Его недостатки — небольшое поглощение в видимой области спектра, низкий редокс-потенциал и чувствительность к кислороду за счет протекания реакции



Использование другой редокс-пары —  $Br_3^-/Br^-$  — позволяет повысить разность потенциалов элемента, но требует красителя с более выраженными окислительными свойствами. Редокс-пара  $Co(III)/Co(II)$ , состоящая из комплексов кобальта с полипиридиновыми лигандами, не поглощает в видимом диапазоне, химически инертна и может стать реальной альтернативой трииодид-иодидному электролиту [8].

Особенность классических DSC — наличие жидкой фазы между электродами. Жидкость выполняет роль среды, в которой происходит перенос заряда от катода к аноду. Наибольшую эффективность проявляют ячейки именно с жидким растворителем. Однако для коммерческих целей такие элементы малопригодны, так как требуется их герметизация, посто-

янно существует вероятность нарушения целостности ячейки и вытекания жидкости. В связи с этим химики исследуют гелевые и твердые полимерные DSC. Основная проблема, которую приходится решать при конструировании устройства на основе геля или полимерной матрицы, — заполнение всей поверхности полупроводника. Для этого частицы геля делают очень малого размера (~2 нм). Другой способ решения — одновременно использовать жидкий растворитель и крупные наночастицы того же  $TiO_2$  с адсорбированными объемными катионами (например, имидазолием) [6]. Вокруг наночастиц благодаря этому организуется трехмерная структура, которая упорядочивает анионы электролита (рис.5). Таким образом удастся добиться более эффективного переноса электронов.

Ячейки Грэтцеля приобрели популярность из-за низкой себестоимости и относительной простоты конструкции, сочетающейся с довольно высокой эффективностью. По последнему показателю эти устройства пока уступают коммерческим образцам на основе монокристаллического кремния, но зато они дешевле и явно еще не достигли предела в развитии, ведь теоретически их эффективность мо-

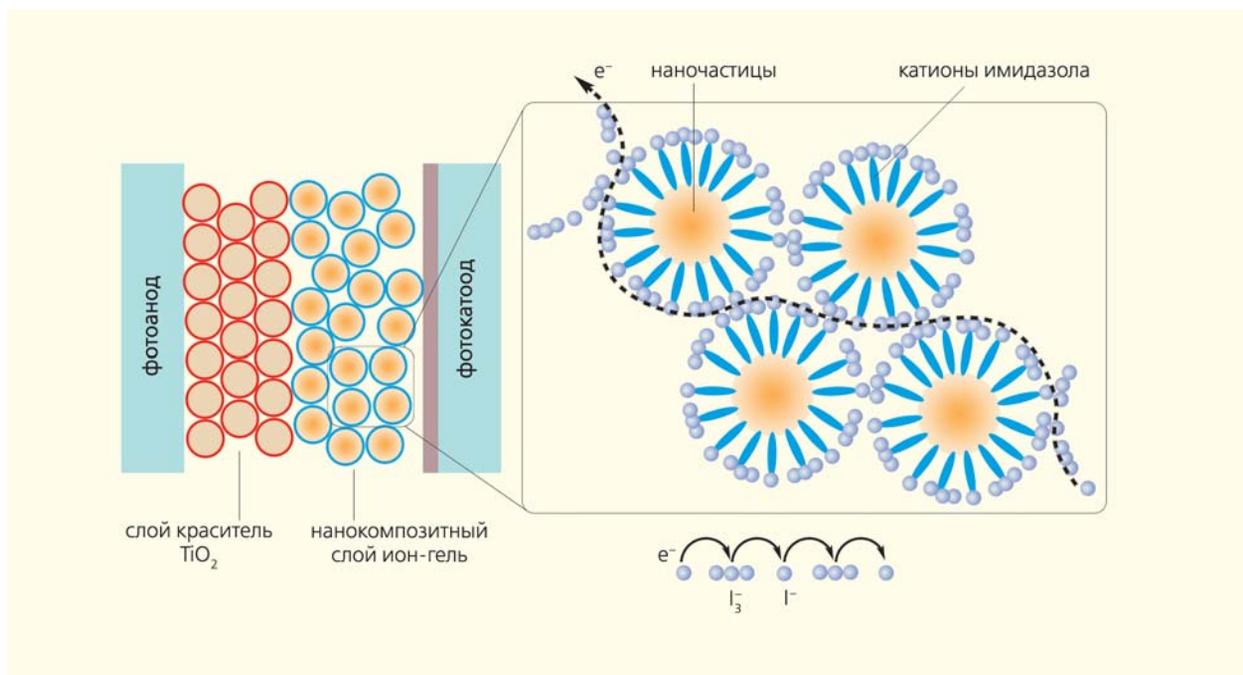


Рис.5. Схема DSC на основе нанокompозитного ион-гельного электролита.

жет составить около 33%. В связи с этим мы планируем развивать данную тематику в своей лаборатории. На первом этапе это будет поиск новых более эффективных красителей на основе полиядерных комплексов платиновых металлов с полипиридино-

выми лигандами. Такие соединения сочетают два важных свойства: широкие спектры поглощения за счет наличия нескольких (в общем случае разных) металлов и высокие коэффициенты экстинкции благодаря расширенной сопряженной системе.

Идейно DSC как искусственные фотосинтетические системы ближе к природным, чем какие бы то ни было другие. Возможно, в будущем эти элементы станут для нас привычными и будут помогать эффективно осваивать солнечную энергию. ■

## Литература

1. *Goncalves L.M., Bermudes V.Z.de, Ribeiro H.A., Mendes A.M.* Dye-sensitized solar cells: a safe bet for the future // *Energy Environ. Sci.* 2008. V.1. P.655–667.
2. *O'Regan B., Grätzel M.* A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films // *Nature.* 1991. V.353. P.737–740.
3. *Еремин В.В.* Искусственный фотосинтез — путь к «чистой» энергии // *Природа.* 2010. №4. С.22–28.
4. *Millington K.R.* Dye-sensitized solar cells // *Encyclopedia of electrochemical power sources.* Elsevier. 2009. P.10–21.
5. *Grätzel M.* Dye-sensitized solar cells // *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.* 2003. V.4. P.145–153.
6. *Lee J.-K., Yang M.* Progress in light harvesting and charge injection of dye-sensitized solar cells // *Mater. Sci. Engin. B.* 2011. V.176. P.1142–1160.
7. *Yum J.-H., Baranoff E., Wenger S., Nazeeruddin M.K., Grätzel M.* Panchromatic engineering for dye-sensitized solar cells // *Energy Environ. Sci.* 2011. V.4. P.842–857.
8. *Yella A., Lee H.-W., Grätzel M. et al.* Porphyrin-sensitized solar cells with cobalt (II/III)-based redox electrolyte exceed 12 percent efficiency // *Science.* 2011. V.334. P.629–634.



# Голубые ракушки

П.П.Стрелков, В.М.Хайтов, М.В.Католикова

**Г**олубая ракушка, устрица для бедняков. Это героиня нашего рассказа мидия. Едва ли найдется человек, бывавший на берегах наших южных, северных или дальневосточных морей, который не видел мидий или хотя бы их черно-синих створок. Многие, вероятно, пробовали на вкус. Этих ценных моллюсков выращивают в марикультуре почти везде, где есть море и мидии, зарабатывая неплохие деньги. В самом деле, только европейская марикультура дает примерно миллион тонн, а тонна мидий на мировом рынке стоит около 1 тыс. долл. [1]. Россия в этом бизнесе, увы, позади планеты всей, хотя богата и мидиями, и наработками в их разведении. Поэтому мало кто у нас знает, какие страсти кипят в науке о голубых ракушках.

Как это часто бывает, под названием «мидия» скрывается сразу несколько разных животных. Дело в том, что голубые мидии (род *Mytilus*) представлены тремя видами: мидиями средиземноморской (*M.galloprovincialis*), тихоокеанской (*M.trossulus*) и атлантической, или съедобной (*M.edulis*). Внешне они очень похожи, различить их по силу только специалистам. Средиземноморская мидия, хотя столь же вкусна и полезна, что и съедобная, в Европе стоит дешевле. Возможно, это потому, что труд выращивающих фермеров из небогатых южноевропейских стран стоит меньше, чем труд британцев или датчан, культивирующих мидию съедоб-



**Петр Петрович Стрелков**, кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета. Область научных интересов — эволюционная история популяций гидробионтов северных морей.



**Вадим Михайлович Хайтов**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Кандалакшского государственного природного заповедника, заведующий лабораторией экологии морского бентоса (гидробиологии) Санкт-Петербургского дворца творчества юных. Занимается изучением структуры и динамики морских донных сообществ.



**Марина Викторовна Католикова**, научный сотрудник той же кафедры. Научные интересы — естественная гибридизация у морских беспозвоночных животных.

ную. К вопросу о существенных для производителей и потребителей особенностях третьего вида, мидии тихоокеанской, которую до последнего времени на европейские рынки не поставляли, мы еще вернемся.

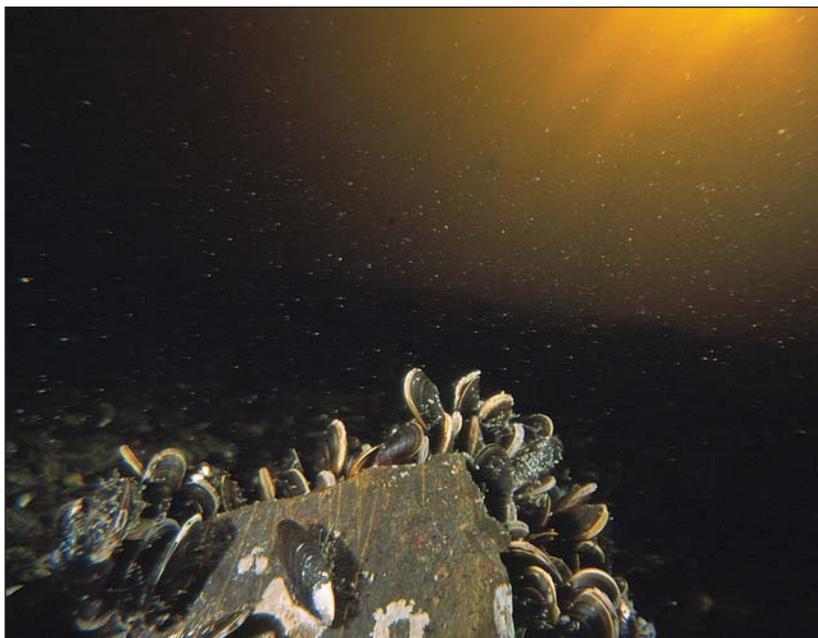
А сейчас рассказ пойдет о распространении, происхождении, привычках и непривычках очень похожих видов ракушек — настолько похожих, что не все согласятся с необходимостью их вообще различать.

© Стрелков П.П., Хайтов В.М., Католикова М.В., 2012



Мидиевая банка в районе пос.Умба в губе Падан — одна из многих в Кандалакшском заливе. Умбаляне с ностальгией вспоминают советские времена, когда местный рыбзавод принимал мидий по 5 коп. за 1 кг. За один отлив бригада из двух человек (как правило, взрослый с подростком-помощником) полностью загрузила мидиями карбас, в который вмещалось больше центнера моллюсков.

Здесь и далее фото М.Л.Федюка



Глубоководная банка мидий съедобной в устье Умбы. В 2007 г., когда была сделана фотография, на банке доминировали средневозрастные мидии, а молоди почти не было. На примере именно этой банки В.В.Луканин и соавторы иллюстрировали явление циклической динамики беломорских мидиевых банок [9]. Если верна их модель, сегодня здесь должны быть безжизненный сероводородный ил и мертвые створки. Однако со временем ил вымывается течениями, на чистый грунт оседают личинки и банка возрождается, как феникс из пепла.

### Ракушки-путешественницы.

В течение сотен тысяч лет разные мидии обитали и эволюционировали в разных частях света: *M.trossulus* — в Тихом океане, *M.edulis* — в Северной Атлантике, *M.galloprouvincialis* — в Средиземном море. Это, однако, не значит, что сегодня каждый вид встречается только в своем районе. Области, заселенные разными видами, перемежаются, а кое-где разные виды живут вперемешку. Например, в Северной Атлантике, вдоль западного (американского) берега на севере обитает мидия тихоокеанская, а на юге — съедобная, причем области их распространения перекрываются на протяжении нескольких тысяч километров. Вдоль противоположного, европейского, берега на севере живет уже съедобная, а на юге — средиземноморская, но во Франции и на Британских о-вах они встречаются вместе. В Балтийском море, как еще недавно считалось, одна как перст во всей Европе, живет мидия тихоокеанская.

За таким распространением стоит, во-первых, непростая история климата Земли в течение последних трех с лишним миллионов лет, во-вторых, деятельность человека, наконец, «талант» самих мидий — они заядлые путешественницы. Взрослые моллюски странствуют, приклеившись специальными нитями к разным плавающим предметам, например к днищам кораблей. Микроскопические же личинки неделями живут в толще воды и перемещаются течениями, но могут путешествовать и в балластных водах кораблей.

**Великие переселения ракушек.** Прародитель всех мидий жил в Тихом океане. В Атлантику они проникли примерно 3.5 млн лет назад, в ходе великой трансарктической миграции морской биоты [2—4]. Это переселение было спровоцировано образованием Берингова пролива. Много позже, в начале плейстоцена (2.5 млн лет назад), наступило похолодание Арктики и связи

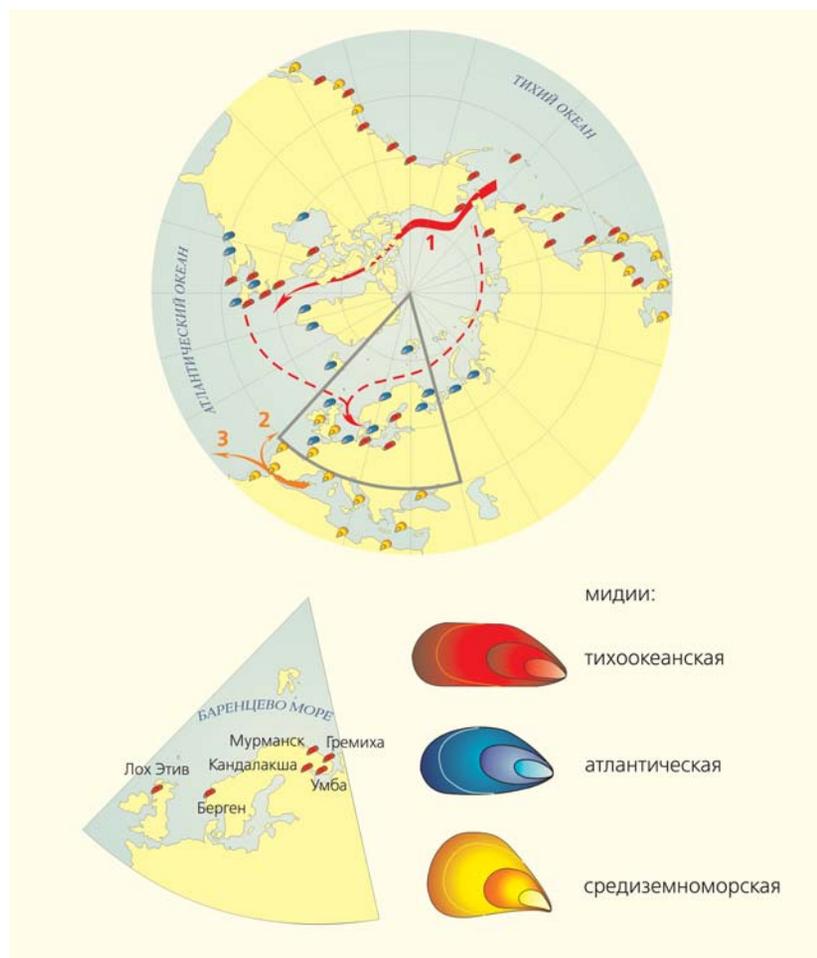
между тихоокеанскими и атлантическими популяциями надолго прервались. Так возникли предпосылки для эволюционной дивергенции предков *M.trossulus* в Тихом океане, с одной стороны, и общего предка *M.galloprovincialis* и *M.edulis* в Атлантическом — с другой. Следствием плейстоценового холодного климата стало также понижение уровня океана. Обмелел Гибралтарский пролив, и это способствовало изоляции средиземноморских популяций мидии. В результате в Средиземном море возникла *M.galloprovincialis*, а в Атлантике — *M.edulis*.

Примерно 1 млн лет назад из-за временного повышения уровня океана *M.galloprovincialis* вырвалась из Средиземноморья в Атлантику и заселила прилегающие к Гибралтару прибрежные воды Европы, где встретилась с *M.edulis*. Вероятно, тогда же средиземноморская мидия совершила грандиозный бросок на юг, в умеренные воды Южного полушария.

В конце плейстоцена, примерно 11 тыс. лет назад, потепление климата Арктики ознаменовалось новой трансарктической миграцией биоты. Этим путем *M.trossulus* проникла в Западную Атлантику и обосновалась в водах северного побережья Америки, где уже обитала мидия съедобная.

В историческое время *M.galloprovincialis* была непредумышленно, с кораблями, и (или) специально для нужд марикультуры завезена в восточную Азию, Калифорнию и Южное полушарие.

**Козни Маленькой злюки.** Марикультура съедобной мидии в морском заливе со странным названием Лох Этив (с кельтского — залив Маленькой злюки) в лучшие годы давала до 50% всего урожая этих моллюсков в Шотландии. Но в прошлом десятилетии на плантации обрушилась странная напасть: у мидий (не у всех) стали формироваться тонкие, хрупкие раковины. Мяса в таких хрупких ракушках было меньше, чем в нор-



Карта распространения голубых мидий в Северном полушарии (по Коehn R.K., 1991, с изменениями) и вероятные направления их доисторических переселений. 1 — трансарктические миграции из Тихого океана в Атлантический; 2, 3 — пути средиземноморской мидии в прибрежные воды Европы (2) и в Южное полушарие (3). Штриховыми стрелками указаны направления, по которым *M.trossulus* могла проникнуть в Балтийское море, а на увеличенном участке карты — новые находки тихоокеанской мидии в Европе.

мальных, и оно имело неаппетитный сероватый цвет. Только из-за того что раковины мидий стали часто ломаться при сборе и обработке, снимаемый с плантаций урожай упал на 25%!

Пришедшие на помощь фермерам ученые под руководством Э.Бюмона из Университета Бангора поставили диагноз: это никакая не болезнь, на плантации вселилась тихоокеанская мидия [5]. Именно у нее, в условиях Лох Этив, хрупкие створки и сероватое мясо. Так со странной «болезни» мидий в этом заливе начался новый этап исследований голубых ракушек — стали изу-

чать небалтийские популяции *M.trossulus* в Европе. То ли раньше их не замечали, то ли они появились совсем недавно, неясно.

**Портовые ракушки.** Многолетняя суета вокруг мидий тихоокеанской, съедобной и средиземноморской счастливо обходила стороной сообщество отечественных ученых, работавших на Белом и Баренцевом морях и избравших мидию одним из объектов исследований. Наши малакологи (те, кто изучают моллюсков) точно знали, что в этих краях испокон веков обитает только один вид мидий, старая добрая *M.edulis*.

...Непроглядной апрельской ночью 2009 г., ориентируясь на звук гремящих жестью сараев и шарахаясь от стай бродячих собак, один из авторов этой статьи (В.М.Хайтов) пробирался вдоль морского берега в Кандалакше. Что поделаешь, если отлив случился ночью, а берега наших северных приморских городов обустроены иначе, чем, скажем, набережная Копакабана в Рио-де-Жанейро. Пуще ледяного ветра, дующего с Белого моря, душу гидробиолога Кандалакшского заповедника жгла мысль, что на подведомственную территорию пробрался вид-вселенец, тихоокеанская мидия.

Дело в том, что незадолго до описываемых событий нами были добыты мидии с акватории Мурманского порта, расположенного на противоположном от Кандалакши баренцевоморском берегу Кольского п-ова. Внешний вид этих моллюсков показался необычным. Пришла мысль, что, возможно, это не съедобная мидия, а другая, скорее всего тихоокеанская, поскольку средиземноморскую никогда еще не встречали в северных морях. Проверить гипотезу удалось, заручившись помощью Р.Вайнолы из Хельсинкского университета. Финский эксперт некогда нашел тихоокеанскую мидию в Балтике. Оказалось, действительно, в Мурманске и в окрестных акваториях живет эта мидия. Потом ее нашли западнее, в районе норвежского Бергена, а восточнее Мурманска — в Гремике, расположенной на границе Баренцева и Белого морей, и, наконец, — в беломорском порту Умба, от которого до Кандалакши всего 60 км [6]. Сама Кандалакша оставалась последним необследованным крупным портом Кольского п-ова. Этот пробел и пытался заполнить Хайтов.

Собранные им на ощупь в ледяной воде кандалакшские мидии были завернуты в мокрую тряпку и помещены в походную сумку-холодильник. Утренним поездом их отправили в Питер,

в лабораторию, для генетического анализа. Результат подтвердил худшие подозрения — то была *Mytilus trossulus*.

**Ракушки по ленд-лизу.** В Белом и Баренцевом морях мы встретили тихоокеанскую мидию только в окрестностях крупных портов. Как, откуда и когда моллюски туда попали? Точно мы этого не знаем, но рискнем предложить версию, которую считаем наиболее правдоподобной. Для ответа на вопрос «как» вспомним про способности мидий путешествовать без билетов водным транспортом и предположим, что *M.trossulus* прибыла в порты с кораблями. Но откуда? Чтобы узнать это, мы провели молекулярно-генетическое сравнение вновь обнаруженных популяций и соплеменных мидий из других районов Европы, из Тихого океана и Западной Атлантики. В результате выяснилось, что наши популяции тихоокеанской мидии ближе всего к западноатлантическим. Значит, они родом из Канады и (или) США. Ответ на вопрос «когда» требует вспомнить историю освоения севера. До постройки Мурманска в 1916 г. океанических портов у нас на севере не было (Архангельский порт не в счет, он расположен не на море, а в низовьях Северной Двины, где морские ракушки жить не могут). Порт Умбы разорился и был закрыт в конце 1980-х годов, значит, после этого корабли туда никого завезти не могли. Когда в советское время было самое активное сообщение со странами Западной Атлантики? Помнится, в подростковом возрасте мы зачитывались романом В.Пикуля «Реквием каравану PQ-17», где описана драматическая история арктических конвоев с грузами для сражающейся России. Конвои снаряжали во время Великой Отечественной войны союзники — англичане, американцы, канадцы. Детям своего времени, нам хочется думать, что *M.trossulus* прибыли в Мурманск с героическими со-

юзными конвоями, а потом с каботажным флотом распространились по соседним портам Кольского п-ова. Жаль только, что эта гипотеза не может объяснить появление тихоокеанской мидии в других районах Европы.

**Непредсказуемые ракушки.** Образ жизни мидий, их способность закупориваться в раковинах и подолгу так оставаться, придает этим животным некоторую таинственность. Не совсем понятно, что от них можно ждать. Как могли попасть в наши воды тихоокеанские мидии, мы обсудили. Следующий вопрос: как они там уживаются с местными сородичами, т.е. с *Medulis*? Они ведь похожи и непохожи одновременно. Похожи тем, что сидят на одинаковых камнях и сваях (а иногда на одних и тех же), фильтруют через свои сифоны ту же воду, выцеживая из нее всякую съедобную мелочь, наконец, ведут, оказавшись по соседству, странную половую жизнь.

Когда летом вода в море прогревается до 10°C, самцы и самки мидий начинают одновременно выметывать половые продукты. Мужские и женские гаметы находят друг друга в толще воды, где и происходят оплодотворение, эмбриональное и личиночное развитие. Не может ли при таком безответственном поведении сложиться неумышленный брачный союз между *M.edulis* и *M.trossulus*?

За ответом на этот вопрос разумно обратиться к научным публикациям иностранных авторов, которыми наши *M.edulis* и *M.trossulus*, сосуществующие в Западной Атлантике, Балтике и Шотландии, изучены вдоль и поперек. Выясняется, что, например, в Канаде между этими видами случается гибридизация, но редко. Зато в южной Балтике гибридов так много, что «чистых» мидию съедобную и тихоокеанскую не вдруг и сыщешь. В Балтике *M.trossulus* предпочитает селиться в местах с низкой соленостью, а *M.edulis* — с высо-

кой. В Канаде дело обстоит ровно наоборот [7]. Поэтому мы и говорим: ракушки непредсказуемы. Одной экстраполяцией знаний о канадских и балтийских мидиях не обойтись в попытке объяснить, как в беломорских водах протекает совместная жизнь *M.edulis* и *M.trossulus* и скрещиваются ли они.

Оказалось, что в наших северных морях мидии скрещиваются, но происходит это скорее как в Канаде (т.е. редко), а солонотные предпочтения у них такие же, как у видов, обитающих в Балтийском море. В наших водах *M.edulis* любят жить на грунтах, а *M.trossulus* — на водорослях, чего ни в каких других районах не отмечено.

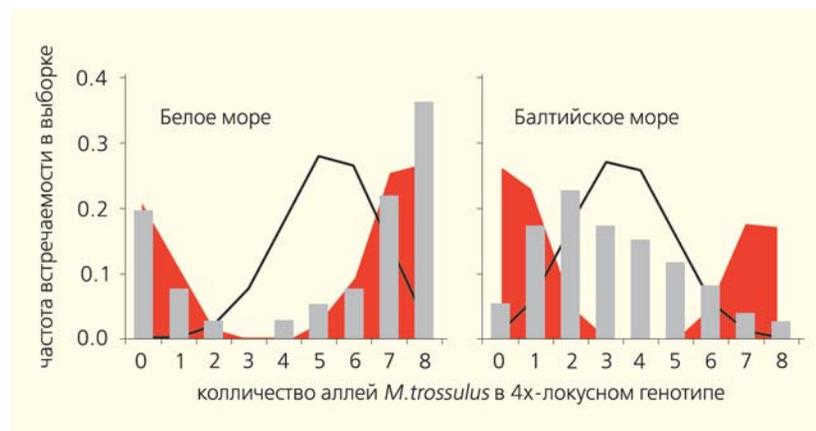
Подчеркнем: вне областей совместного обитания мидии съедобная и тихоокеанская живут где угодно — и на водорослях, и на камнях, в водах как пониженной, так и нормальной солёности.

**О гибридах у ракушек.** Рискнем утомить читателя и объяснить, как мы выявляли межвидовую гибридизацию у ракушек и ее масштаб. Когда мы собираем в море мидий, их видовая принадлежность нам доподлинно не известна, надежная идентификация возможна лишь по тонким морфологическим и молекулярно-генетическим признакам (поэтому Хайтову и пришлось томиться неведением, пока собранные им мидии анализировались в лаборатории). Традиционно мидию тихоокеанскую и съедобную различают по аллозимным (ферментным) генам. У одного вида по этим признакам присутствуют или преобладают одни аллели, у другого — другие (для простоты мы называем их аллелями *trossulus* и аллелями *edulis*). Частотами аллелей тех четырех генов, по которым проводился анализ, популяции *M.trossulus* и *M.edulis* различаются на 80%. Частоты аллелей некоторых из изученных нами выборок мидий были промежуточными между показателями этих видов. Логично

предположить поэтому, что выборки состояли из смеси особей двух видов и (или) гибридов. Мы проверили эту гипотезу на двух таких «промежуточных» выборках — из Белого моря и из Балтийского. У каждой изученной мидии подсчитали число аллелей *trossulus* и *edulis* и получили девять генотипических групп, которым присвоили порядковые номера — от 0 до 8. В последней группе были генотипы с восемью аллелями *trossulus*, а аллели *edulis* отсутствовали (8 + 0), в седьмой — семь аллелей *trossulus* и одна *edulis* (7 + 1) и т.д. В нулевой группе имелись восемь аллелей *edulis* и ни одной *trossulus* (0 + 8). Затем, подсчитав количество особей в каждой группе, по результатам построили эмпирические распределения. В беломорской выборке оказалось много особей, у которых восемь и семь аллелей *trossulus* (т.е. «чистых» *M.trossulus*), меньше мидий, принадлежащих к группам 0 и 1

(«чистых» *M.edulis*), и мало с числом аллелей *trossulus* от двух до шести (потенциальных гибридов). Это распределение близко к ожидаемому для смеси особей двух видов; тем не менее небольшой избыток мидий в группах 2—6 указывает на ограниченную гибридизацию. А вот в выборке из Балтики картина иная: доминируют особи с промежуточным числом аллелей двух видов (группы 2—6). Отсюда вывод об ограниченной гибридизации в Белом море и обширной — в Балтийском.

**Ракушки раздора.** От своих коллег мы нередко слышим, что биологические различия между *M.edulis* и *M.trossulus* не могут быть значительными, потому что они скрещиваются. Если кто-то между собой скрещивается, значит, это представители одного вида. А существенные различия могут быть только у разных видов. Это мнение обычно подкрепляется ссылкой на авторитет Э.Майра.



Анализ распределения генотипических групп в выборках мидий из Белого и Балтийского морей. Судя по эмпирическим распределениям, представленным в виде гистограмм, в беломорской выборке преобладают «чистые» виды (группы 0 и 1, 7 и 8), а в балтийской много гибридов (группы 2—6). Для наглядности кроме эмпирического распределения показаны два теоретических распределения. Они рассчитаны на основании знаний о частотах аллелей в выборке и в «чистых» популяциях мидий съедобной и тихоокеанской. Одно построено для выборки, будто бы состоящей из смеси нескрещивающихся особей обоих видов (зеленые фигуры), а другое — для выборки, якобы взятой из «равновесной» популяции, в которой нет самостоятельных *M.trossulus* и *M.edulis*, наблюдается случайное скрещивание и отсутствует отбор против гибридов (синяя кривая). Эти теоретические распределения помогают визуальную оценку масштаба гибридизации, а также проиллюстрировать ожидаемые результаты двух эволюционных сценариев — экологического расхождения и изоляции, гибридизации и слияния.

Значительно ли различаются *M.edulis* и *M.trossulus*? Это вопрос скорее к шотландским фермерам: сочтут ли они существенными потери доходов из-за вселения тихоокеанской мидии на плантации Лох Эттив? Разные виды скрещиваются или не скрещиваются? Для нас вид это то, что нельзя, согласно научной и утилитарной логике, не отличать от других видов, и то, что можно непротиворечиво описать в терминах генетики и морфологии. Глухарь и тетерев, волк и собака, лев и тигр — это ведь разные виды животных, хотя они и скрещиваются в природе или в неволе. Вот и *M.edulis* и *M.trossulus* мы видим как разные биологические виды.

Что по этому поводу писал Майр? Знаменитый эволюционист действительно считал, что представители разных видов в гибридизацию вступать не могут. Он также отстаивал гипотезу так называемого аллопатрического видообразования. В основе гипотезы лежат две идеи:

— новые виды образуются на базе географически изолированных популяций;

— неспособность скрещиваться с особями извне возникает в таких популяциях как побочный продукт эволюции в изоляции [8].

Далеко не все ученые полностью согласны с Майром. Одна-

ко мало кто сомневается, что новые виды действительно могут зарождаться в условиях изоляции, и тогда с течением времени потеряют способность скрещиваться друг с другом.

**Суперракушки.** Несколько миллионов лет *M.edulis* и *M.trossulus* (вернее, их предки) жили в разных океанах, потихоньку эволюционируя, приобретая собственные генетические и морфологические особенности. По ним мы сегодня и опознаем эти виды. Могли ли они сформировать резко отличающиеся экологические потребности и полную неспособность скрещиваться с заокеанскими родственниками? Насчет первого не уверены: чем так уж радикально отличаются природные условия в северных областях Тихого и Атлантического океанов? По поводу скрещивания ответ такой: оба вида, похоже, немножко не досидели в изоляции и сохранили способность к гибридизации. А потом судьба свела их вместе.

Сегодня, встречаясь друг с другом в разных углах Мирового океана, наши виды всякий раз оказываются перед «выбором». То ли броситься друг другу в объятия, чтобы слиться в один новый, синтетический вид. То ли изменить образ жизни таким образом, чтобы межвидовые контакты стали мини-

мальными и тем ограничить себя в скрещиваниях, поделить местообитания и зажить как разные, «майровские», виды. Это тоже эволюционные пути, только реализуются они не в условиях изоляции и, надо думать, гораздо быстрее, чем за миллионы лет. Создается впечатление, что мидии съедобная и тихоокеанская в разных морях «выбрали» разные пути: в Балтике, скорее, первый (т.е. гибридизацию и слияние), а в Западной Атлантике и в наших северных морях — второй (экологическое расхождение и изоляция). Что подтолкнуло их к такому «выбору», почему местообитания в разных случаях были поделены по-разному (не монетку же моллюски подкидывали: тебе выпало жить в эстуарии, мне — в соленом море)? На это нам пока сказать нечего.

Кстати, Майр наравне с другими классиками науки рассматривал эти ракушечьи эволюционные варианты как реалистичные. Еще он предлагал называть такие биологические формы, как *M.edulis*, *M.trossulus* и *M.galloprovincialis*, не видами, а полувидами, группы же родственных полувидов — супервидом [8]. Если в таком таксономическом ранжировании (подвид, полувид, вид) есть какая-то суть, то голубые ракушки — супервид! ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 04-04-57808-АФ-а и 08-04-01315-а.**

## Литература

1. <http://www.fao.org/>
2. Koebn R.K. The genetics and taxonomy of species in the genus *Mytilus* // Aquaculture. 1991. V.94. P.125—145.
3. Hilbish T.J., Mullinax A., Dolven S.I. et al. Origin of the antitropical distribution pattern in marine mussels (*Mytilus* spp.): routes and timing of transequatorial migration // Marine Biology. 2000. V.136. P.69—77.
4. Rawson P., Harper F. Colonization of the northwest Atlantic by the blue mussel *Mytilus trossulus* postdates the last glacial maximum // Marine Biology. 2009. V.156. P.1857—1868.
5. Beaumont A.R., Hawkins M.P., Doig F.L. et al. Three species of *Mytilus* and their hybrids identified in a Scottish Loch: natives, relicts and invaders? // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2008. V.367. P.100—110.
6. Vainola R., Strelkov P. *Mytilus trossulus* in Northern Europe // Marine Biology. 2011. V.158. P. 817—833.
7. Riginos C., Cunningham C.W. Local adaptation and species segregation in two mussel (*Mytilus edulis* x *Mytilus trossulus*) hybrid zones // Molecular Ecology. 2005. V.14. P.381—400.
8. Mayr E. Animal species and evolution. Cambridge, 1963.
9. Луканин В.В., Наумов А.Д., Федяков В.В. Поселения мидий: постоянное непостоянство // Природа. 1990. №11. С.56—62.

# Космическая линза работает в телескопе

Н.Т.Ашимбаева,  
кандидат физико-математических наук  
Москва

Космический телескоп НАСА «Хаббл» позволил увидеть детали открытой в 2010 г. далекой галактики. И произошло это благодаря использованию уникальных свойств естественной линзы — гравитационной. Группа астрономов под руководством Джейн Ригби из Космического центра полетов им.Годдарда НАСА исследовала объект, который может служить одним из самых ярких примеров гравитационного линзирования, — почти 90-градусную дугу в скоплении галактик RCS2 032727-132623. Высокая разрешающая способность аппаратуры в сочетании с «фокусирующим» действием гравитационного поля скопления позволили очень подробно изучить детали, которые ранее не наблюдались.

Эффект гравитационной линзы имеет место в том случае, когда на луче зрения между изучаемым объектом и наблюдателем находится массивный объект (звезда, Солнце, черная дыра, галактика или целое их скопление). Существование гравитационных линз предсказывалось общей теорией относительности Эйнштейна в 1915 г. Впервые линза в космосе была обнаружена в 1979 г., когда нашли двойной квазар QSO 0957+16 А,В. К настоящему времени уже известны десятки гравитационных линз. В гравитационном поле таких массивных тел свет от удаленных объектов испытывает искажения (рис.1). Световые лучи от галактики (показано серыми стрелками) при прохожде-

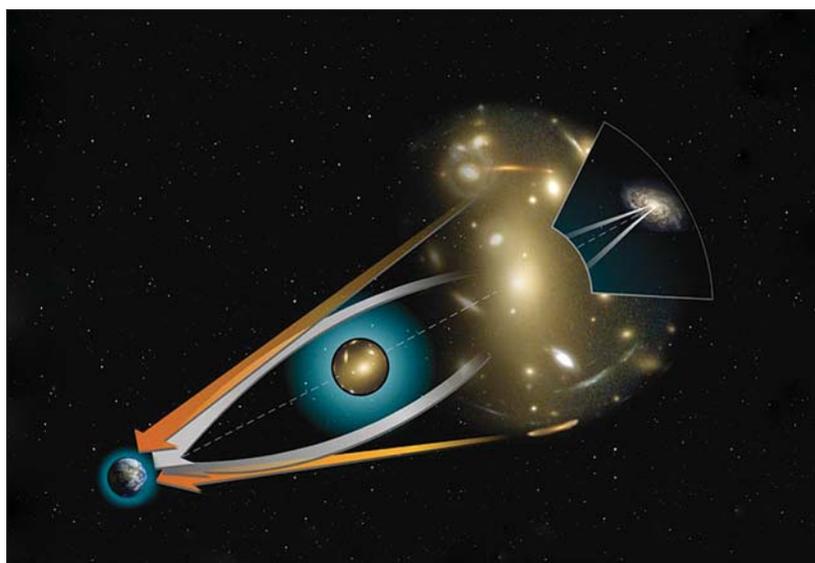


Рис.1. Схематическое изображение космической линзы [3].

нии через скопление масс изгибаются, отклоняются от прямой, и наблюдатель видит источник уже в несколько другом направлении (красные стрелки). При этом происходит искажение первоначального вида галактики: она может вытягиваться, изгибаться в дугу, появляются дополнительные изображения — все зависит от взаимного расположения источника, линзы и наблюдателя. Кроме того, происходит усиление потока, т.е. скопление действует как настоящая увеличительная линза.

Существование такого природного «увеличительного прибора» позволяет увидеть, как происходила эволюция галактик 10 млрд лет назад. Те галактики, которые наблюдаются обычным способом, находятся достаточно близко и в большинстве сво-

ем уже полностью сформированы, звездообразование в них закончено. Для получения информации о ранних годах Вселенной актуально изучение именно удаленных галактик. Но с помощью современных телескопов наблюдать подобные объекты невозможно, так как светимость их мала и они имеют малый угловой размер, который не разрешается имеющимися инструментами. А понять, как происходило образование этих очень молодых галактик, принципиально важно. И здесь гравитационное линзирование может стать хорошим подспорьем.

В 2010 г. появилось сообщение [1] об открытии яркого линзированного источника RCSGA 032727-132609 — гигантской протяженной дуги размером в 38" и дуги меньшего разме-

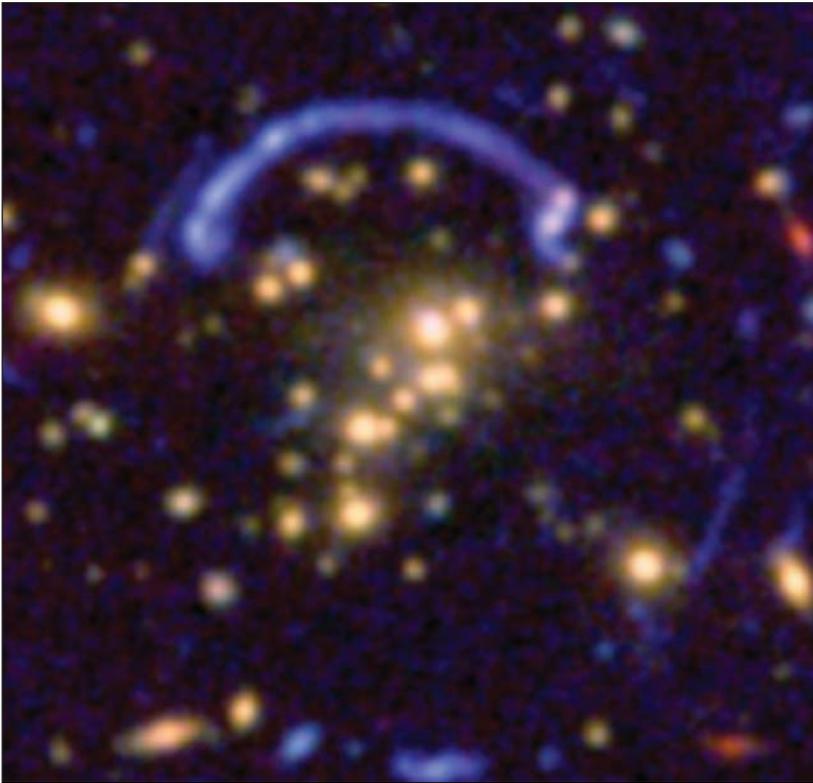


Рис.2. Изображение протяженного линзированного источника RCSGA 032727-132609, представляющее собой композицию изображений в девяти полосах (u, V, g, r, I, z, J, H, K), полученных на пяти телескопах в 2005—2009 гг. Размер поля  $1 \times 1'$  [1].

ра — контробразы. Дуга представляет собой изображение удаленной галактики, которая расположена на расстоянии в 10 млрд св. лет (что соответствует красному смещению  $z = 1.7$ ), искаженное в результате гравитационного линзирования более близким скоплением RCS2 032727-132623 (находящимся на расстоянии  $z = 0.564$ ). По расчетам ученых, яркость этой галактики оказалась в три раза больше, чем у ранее исследованных подобных галактик, что делает ее самым ярким объектом этого класса на сегодняшний день.

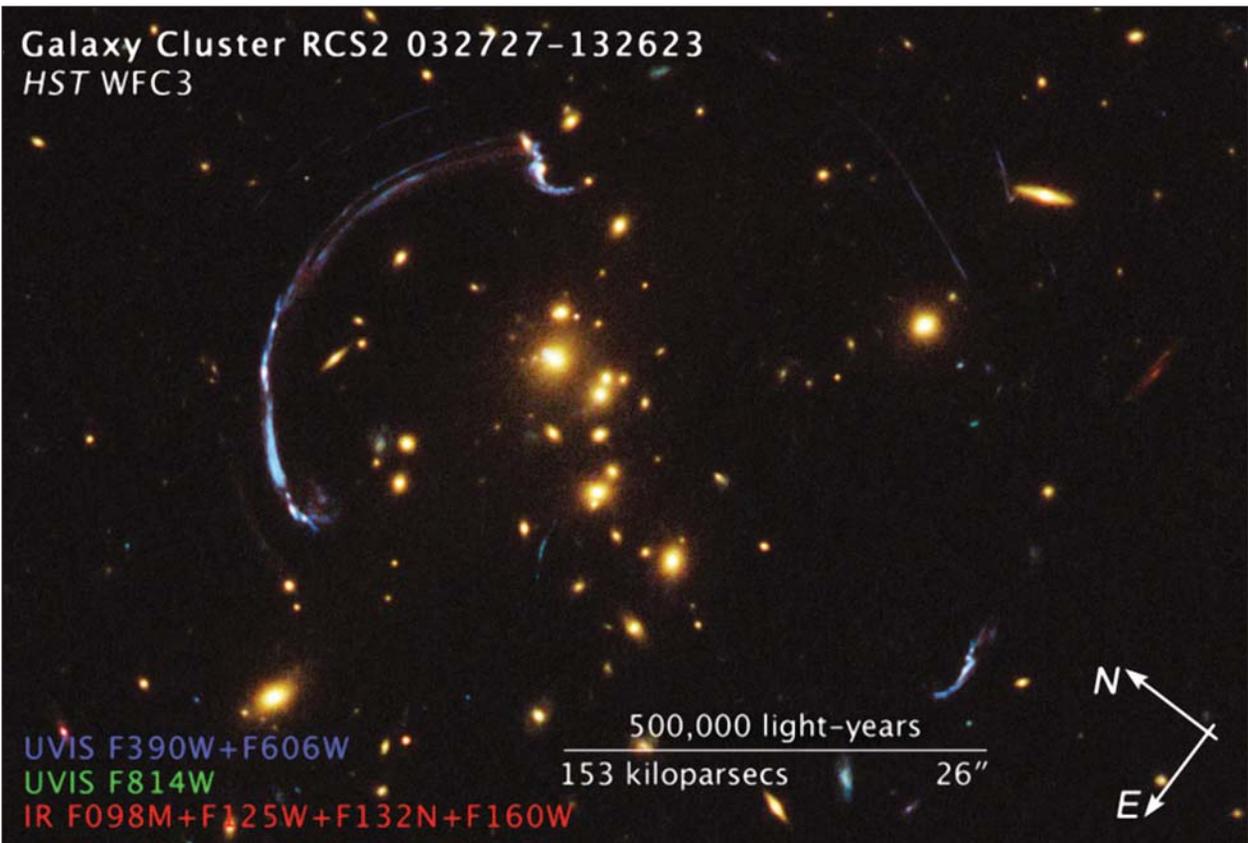


Рис.3. Изображение линзированного источника RCSGA 032727-132609, полученное на телескопе «Хаббл». Нанесен масштаб, цветом выделены изображения в разных фильтрах [3].

Наблюдения проводились на протяжении 2005—2009 гг. на пяти крупных наземных телескопах: 4.1-метровом Южном телескопе для астрофизических исследований (Southern Astrophysical Research Telescope, SOAR) и Очень большом телескопе (Very Large Telescope), расположенных в Чили, камере MegaCam Телескопа Канада—Франция—Гавайи (Canada-France-Hawaii Telescope, CFHT) на Мауна Кеа (Гавайи), телескопах Магеллан-Бааде (Magellan Baade Telescopes) в Чили и 3.5-метровом телескопе обсерватории Апачи-Пойнт (Apache Point Observatory) в Нью-Мексико (США). Изображения получали в девяти спектральных полосах — *u*, *B*, *g*, *r*, *I*, *z*, *J*, *H* и *K*, которые охватывают диапазон длин волн от 365 до 2190 нм, от ультрафиолетовой до ближней инфракрасной областей спектра. На рис.2 представлено комбинированное изображение источника RCSGA 032727-132609 во всех девяти спектральных полосах.

В 2011 г. были проведены наблюдения [2] на телескопе «Хаббл» с использованием Широкоугольной камеры 3 (Wide Field Camera 3), рис.3. Очень хорошо видно, насколько улучшилось качество изображения без влияния атмосферы Земли — разрешение увеличилось по сравнению с наземными наблюдениями примерно в 5 раз (от 0.5'' до 0.1''). Благодаря этому удалось увидеть все создаваемые гравитационной линзой изображения галактики (пять) и их детали. На приведенном снимке обнаружено несколько очень ярких областей звездообразования (чего наземные наблюдения дать не могли).

Задача астрономов состояла в том, чтобы по полученным

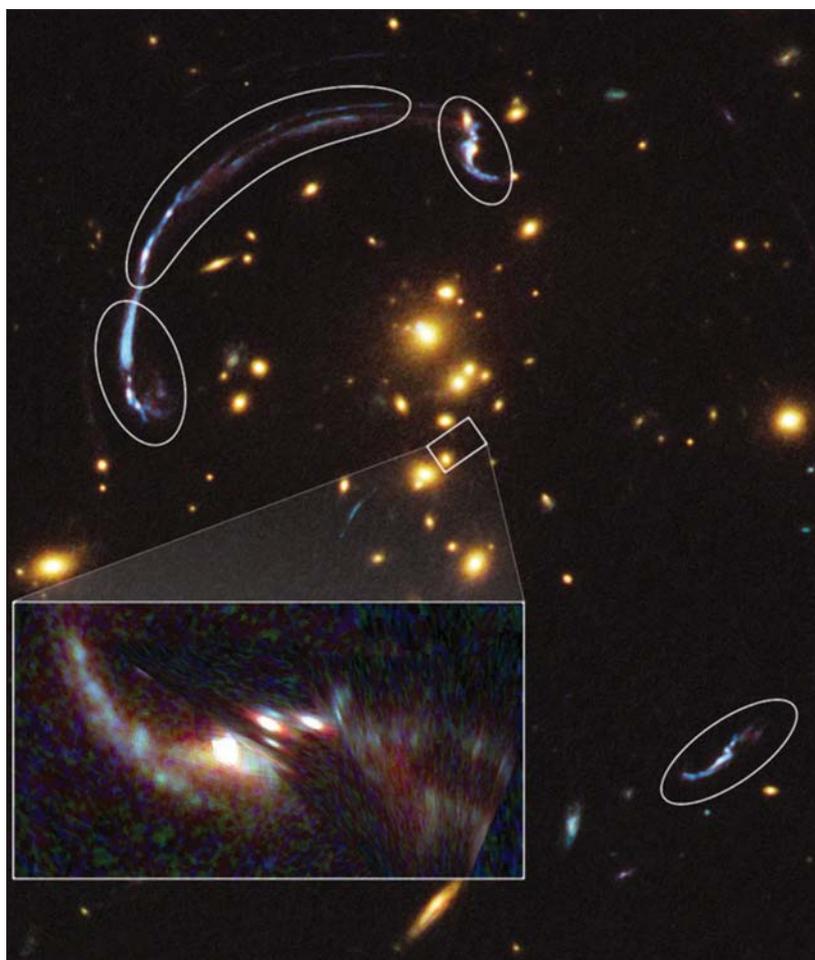


Рис.4. Реконструкция изображения галактики, искаженной гравитационным влиянием скопления галактик [3].

данным восстановить «истинное лицо» галактики. С помощью наземных наблюдений в 2010 г. однозначно решить задачу не удалось. Высокое разрешение телескопа «Хаббл» позволило построить хорошую модель линзы и восстановить изображение галактики (рис.4).

Было найдено, что усиление, создаваемое линзой, составляет около 28 (25 в большой дуге и 3 — в контробразовании). По наблюдениям были выявлены области звездообразования, ко-

торые оказались намного ярче аналогичных участков Млечного Пути. Изучив спектры самых ярких из них (где усиление достигает максимального значения — 42), ученые смогли заглянуть в центральную 100-парсековую область галактики. Далее планируется провести более тщательный анализ этих областей с помощью спектральных исследований, чтобы выяснить причину повышенного темпа звездообразования для галактик на больших красных смещениях. ■

## Литература

1. Wuyts E., Barrientos F., Michael D. et al. A Bright, Spatially Extended Lensed Galaxy at  $z = 1.7$  Behind the Cluster RCS2 032727-132623 // *The Astrophysical Journal*. 2010. V.724. P.1182—1192.
2. Sharon K., Michael D., Gladders Jane R., et al. // *The Astrophysical Journal*. 2012. V.746. P.161, doi:10.1088/0004-637X/746/2/161 (<http://lanl.arxiv.org/abs/1202.0539>).
3. сайт НАСА <http://hubblesite.org>.

# Заметки и наблюдения Геологические загадки иранского побережья Каспия

А.А.Свиточ,

доктор географических наук

Е.Н.Бадюкова,

кандидат географических наук

Б.Шейхи

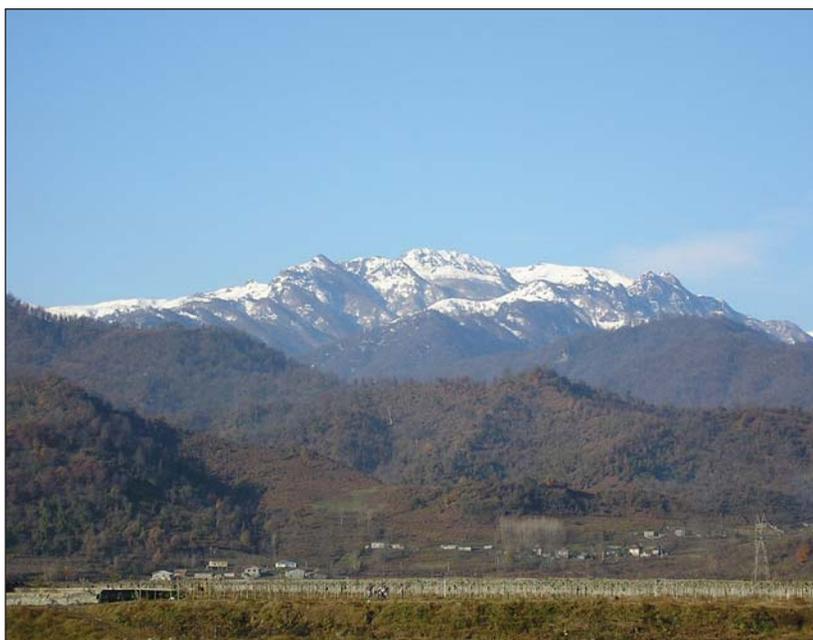
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Доброй памяти  
Марины Юзефовны Зубревой

Иранское побережье Каспийского моря представляет собой обширную равнину с субтропическим климатом, ограниченную с юга высокими, постоянно заснеженными горами Эльбурса. На западе она называется Гилянской, в центральной части — Мазандаранской, на востоке — Голестанской. Равнина имеет небольшой уклон к северу, в приморской части она слабо террасирована, и здесь к ней примыкает система современных береговых валов. Геологическое строение приморской равнины изучено крайне слабо, недостаточно материала также по геоморфологии и истории ее палеогеографического развития.

В декабре 2011 г. нам удалось в рамках международного научного сотрудничества провести полевые исследования на побережье Ирана. Был получен обширный фактологический материал по его геологическому строению. Однако по мере анализа полевых данных стали появляться вопросы, которых не возникало при изучении строения и истории развития других побережий Каспия, исследованных несравненно лучше. Рассмотрим из этих вопросов три наиболее интересных.

**Валуны на приморской равнине.** От низких предгорий Эльбурса до берега моря в пределах днищ и бортов речных до-



Низменная равнина иранского побережья Каспия у подножия высокогорного хребта Эльбурс.

лин, реке на низких водораздельных участках отмечено большое количество грубообломочного материала — крупных валунов диаметром до 1–1.5 м, достаточно хорошо окатанных, разнообразного петрографического состава — от метаморфизованных основных пород и гранитов до перекристаллизованных известняков и песчаников. Как они оказались там и каким образом перемещались? Обычно такие валуны переносятся ледником, морскими паковыми льдами или реками. Однако здесь, в предгорьях и тем

более на приморской равнине, отсутствуют следы деятельности ледника (троги и морены). На мелководьях голоценовых морей в субтропических условиях практически не могло существовать плавающего льда, способного разносить грубообломочный материал гор и предгорий по акватории бассейна (этой версии противоречит и окатанность валунов). Также полностью исключается перемещение таких гигантских валунов волочением по руслу реки, так как речной поток этого про- тото не осилит.

Причиной появления валунов на равнинном берегу моря может быть последовательное действие двух факторов: сначала гравитационно-обвальные процессы поставляли обломки пород с гор в днища крупных долин, а затем мощные паводковые потоки, характерные для сезона обильных дождей на северном склоне Эльбурса, перемещали их по приморской равнине к берегу. Движение могло происходить в результате сильного давления водного потока на глыбы, а также путем выноса из-под них галечного материала. Это приводило к смещению валунов в сторону уклона поверхности, а заодно способствовало приданию им округлой формы. Все это продолжалось на протяжении сотен и тысяч лет, что вполне достаточно для достижения глыбами береговой зоны Каспия.

**Отсутствие раковин моллюсков в хвалынских отложениях.** На всех побережьях Каспийского моря хвалынские отложения выделяются и расчленяются на основании содержащихся в них комплексов моллюсков рода *Didacna*. На смежном побережье Туркмении в нижней части разреза хвалынских отложений обнаружены *D.praetrigonoides*, *D.delenda*, *D.subscatillus*, *D.umbonata* и *D.pallasi*, а в верхней — только *D.praetrigonoides*. На противоположном — азербайджанском — берегу в разрезе высоких хвалынских террас присутствуют *D.parallella* и *D.cristata*, а в осадках низких террас — *D.praetrigonoides*.

На иранском же побережье скрупулезные поиски раковин моллюсков в хвалынских глинах не принесли никаких результатов. Правда, в литературе отмечаются находки обломков раковин дидакн в конгломератах [1]. Но если это действительно обломки дидакн, то их нахождение можно отнести к разряду исключительных случаев.

Интересно, какие факторы могли препятствовать обитанию моллюсков в субтропических во-



Огромные валуны на берегу моря. Коренные выходы этих пород обнаружены в горах Эльбурса в десятках километров южнее. Как они сюда попали?

дах Каспия во время хвалынской трансгрессии, когда море подступало к предгорьям Эльбурса? Несомненно, что в то время в прибрежные районы с гор поступали обильные пресные и холодные воды, резко ухудшавшие экологическую обстановку обитания дидакн. Но тогда здесь существовали бы другие — опресненные либо пресноводные — комплексы моллюсков, а они также не обнаружены. Значит, присутствовали иные, еще более сдерживающие, факторы для обитания любых моллюсков, а не только дидакн. Скорее всего, это связано с тонким глинистым составом хвалынских отложений и высокой скоростью их накопления. Только это могло полностью исключить развитие малакофауны на дне бассейна. Аналогичная картина отмечается в фации «шоколадных» глин Нижнего Поволжья. Там в глинистой части разреза, достигающей мощности около 10 м, раковины моллюсков тоже практически отсутствуют.

**Молодость и высокая скорость образования крупных прибрежных форм рельефа.**

Этот вопрос возник несколько лет назад при изучении отложений крупной Мордобской пере-

сыпи, отделяющей от моря лагуну Энзели. Ее протяженность в настоящее время превышает 25 км, а ширина составляет от 0.4 до 4.5 км. Пересыпь освоена, на ней располагаются крупнейший на побережье морской порт Энзели и несколько населенных пунктов.

В 2005 г. во время геологической экскурсии здесь были исследованы два геологических разреза — в тыловой и в приморской частях пересыпи. Тыловая часть состоит из трех циклов осадков. Верхний и нижний представлены нормальными прибрежно-морскими образованиями, а разделены они осадками опресненной лагуны с периодическим осолонением и иссушением. В разрезе приморской части присутствуют только грубообломочные и песчаные прибрежно-морские отложения. Радиоуглеродное датирование по раковинам моллюсков показало неправдоподобно молодой возраст осадков пересыпи —  $0.570 \pm 50$  тыс. лет [2]\*.

\* Известно, что близкая по размерам Туралинская голоценовая пересыпь (Дагестан), изолирующая от моря оз. Большое Турали, на порядок древнее. Ее возраст составляет 4—5 тыс. лет.



Красно- и буровые хвалынские отложения приморской равнины Каспия. На всех других побережьях хвалынские осадки содержат множество раковин солоноватоводных моллюсков. На иранском берегу они «немые».



Геологический разрез приморской части иранского берега Каспия. Скорость накопления песчано-галечных отложений здесь чрезвычайно высока — до нескольких сантиметров в год.

Повторное независимое датирование подтвердило достоверность этой даты.

Очень молодой возраст отложений (менее 1 тыс. лет) и большая скорость их накопления определены и для восточного участка иранского побережья — пересыпи Мианкале, ограничивающей Горганский залив [3]. Это можно объяснить поступлением огромного количества речных наносов и их быстрой аккумуляцией, чего не

наблюдается на других, в том числе предгорных, побережьях Каспия. При этом благодаря преобладающему распространению волн под прямым углом к берегу основная часть взвешенных и влекомых наносов не переносится течением, а идет на формирование береговых форм. Возможно, этого было достаточно для образования за несколько сотен лет значительной части Мордобской пересыпи. Сказанное можно допол-

нить, приведя данные о современной скорости выдвигания дельты р.Сефидруд: сегодня она составляет 15 м/год, а в регрессивный период Каспия достигала 53 м/год [4].

Предложенными ответами на ряд интересных вопросов геологического строения и развития иранского побережья Каспийского моря, конечно, не исчерпываются все варианты возможных объяснений обнаруженных нами феноменов. ■

## Литература

1. Eblers E. Südkaspisches Tiefland (Nordiran) und Kaspisches Meer. Tübingen, 1971.
2. Свиточ А.А., Янина Т.А. Морской голоцен Иранского побережья Каспия // Доклады Академии наук. 2007. Т.410. №4. С.271—276.
3. Labijani H.A.K., Rabimpour-Bonab H., Tavakoli V., Hosseindoost M. Evidence for late Holocene highstands in Central Guilan-East Mazandaran, South Caspian coast, Iran // Quaternary International. 2009. V.197. P.55—71.
4. Голамреза Н. Эколого-географические последствия колебаний уровня Каспийского моря для ландшафтов южного и западного побережья Каспия. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2003.

# Карстовые пещеры Чатыр–Дага

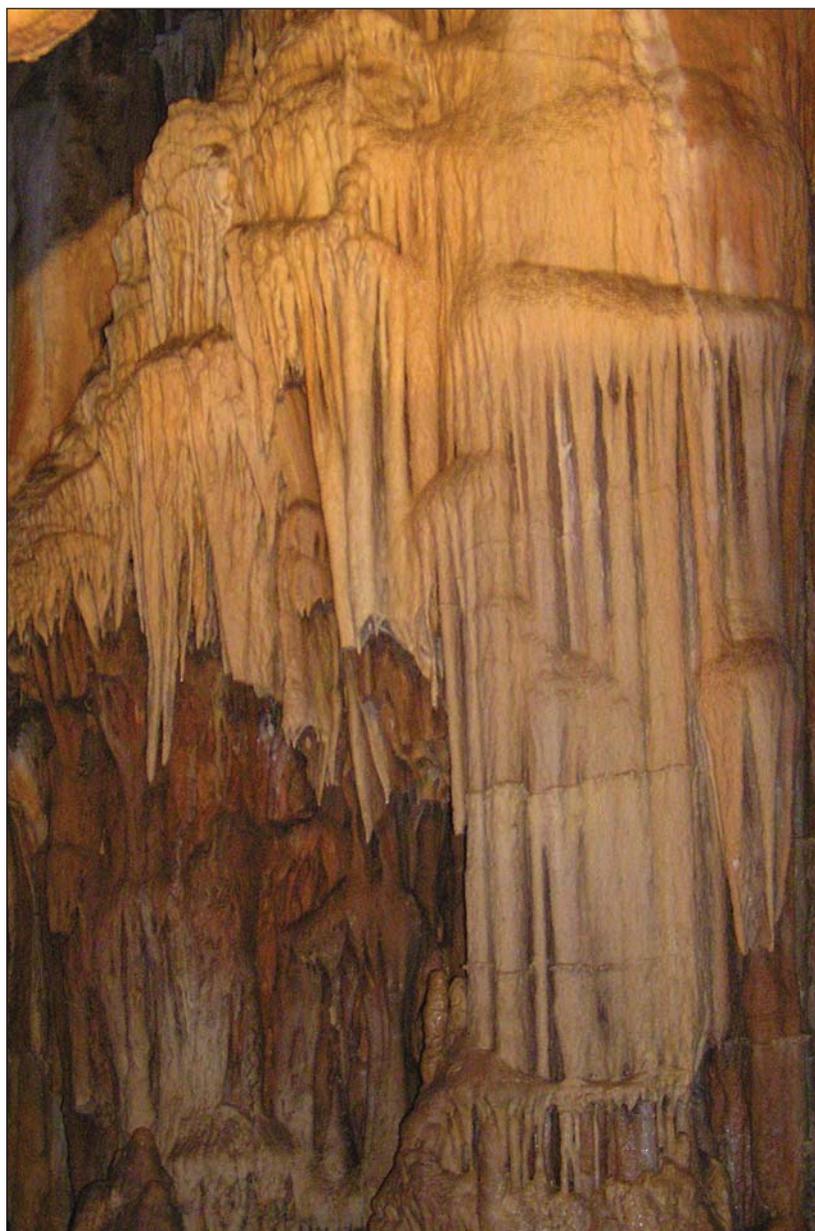
В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

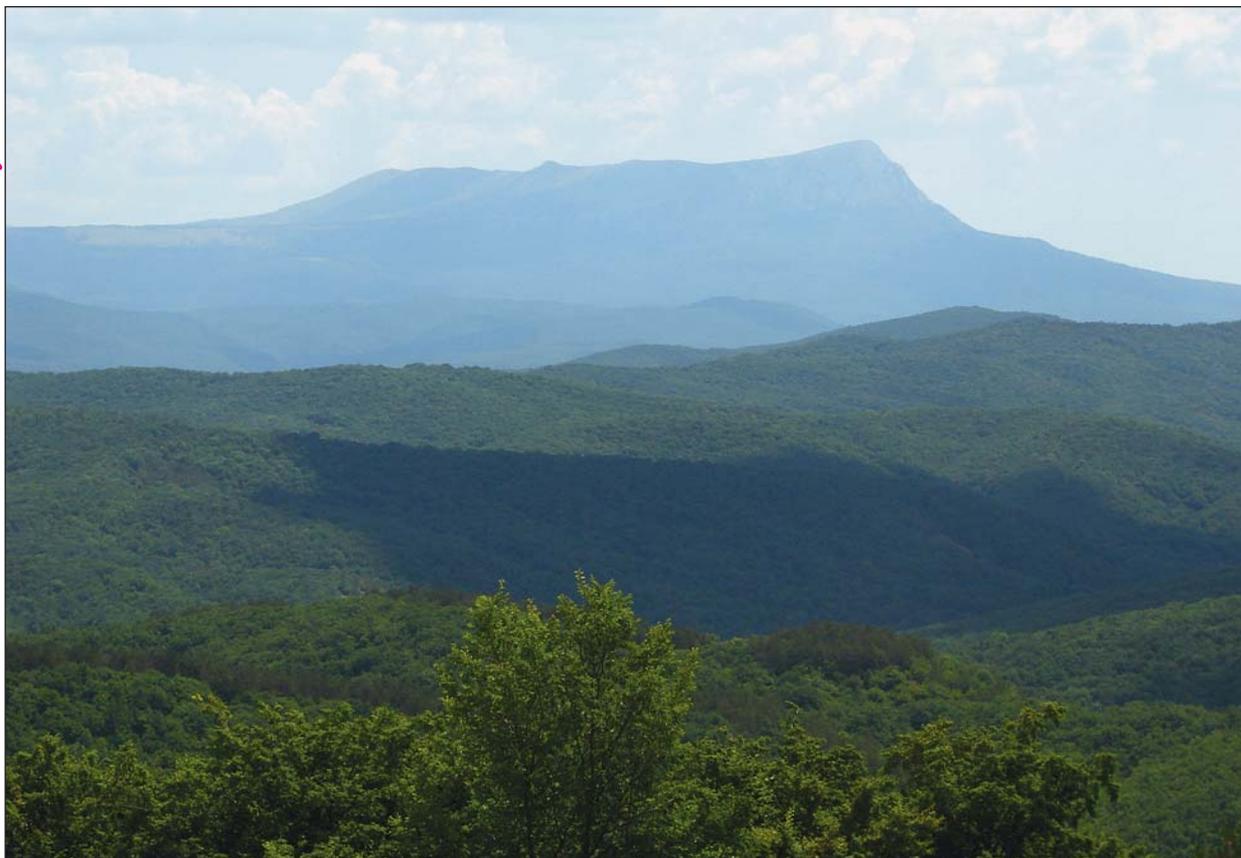
Российский государственный геологоразведочный университет им.С.Орджоникидзе  
Москва

Силуэт Чатыр-Дага издали напоминает огромный раскинутый шатер, чем и объясняется его тюркское название — Шатер-гора. Этот величественный массив смещен от фронтальной линии Главной гряды Крымских гор примерно на 10 км к северу и отделен от соседних вершин перевалами. В далеком геологическом прошлом Чатыр-Даг не был так резко обособлен. Его изолированность — результат проявления самых различных природных процессов, и в первую очередь тектонических, которые активизировали речную эрозию, создавшую вдоль крутых склонов живописные ущельеобразные долины.

Чатыр-Даг вытянут в меридиональном направлении почти на 10 км при ширине до 5 км. Его площадь со всеми отрогами достигает 46,5 км<sup>2</sup>. В плане это прямоугольник с четкими ровными склонами (за исключением северной оконечности, расчлененной речными долинами). Поверхность Чатыр-Дага располагается на разных абсолютных отметках. Большинство исследователей выделяют две понижающиеся к северу гипсометрические ступени — нижнее и верхнее плато. Нижнее занимает наибольшую площадь и лежит на высотах 900—1100 м над ур.м. (максимальная отметка 1252 м). Верхнее отделено от него довольно крутым склоном и находится в среднем на высоте 1300 м. Здесь расположена



Натечные формы кальцита в пещерах, расположенных в северной части нижнего плато Чатыр-Дага.



Горный массив Чатыр-Дага. Вид с запада.

самая высокая точка Чатыр-Дага — Эклизи-Бурун (в переводе с греческого и тюркского — Церковный мыс). Она имеет отметку 1527 м и занимает в иерархии крымских вершин почетное пятое место.

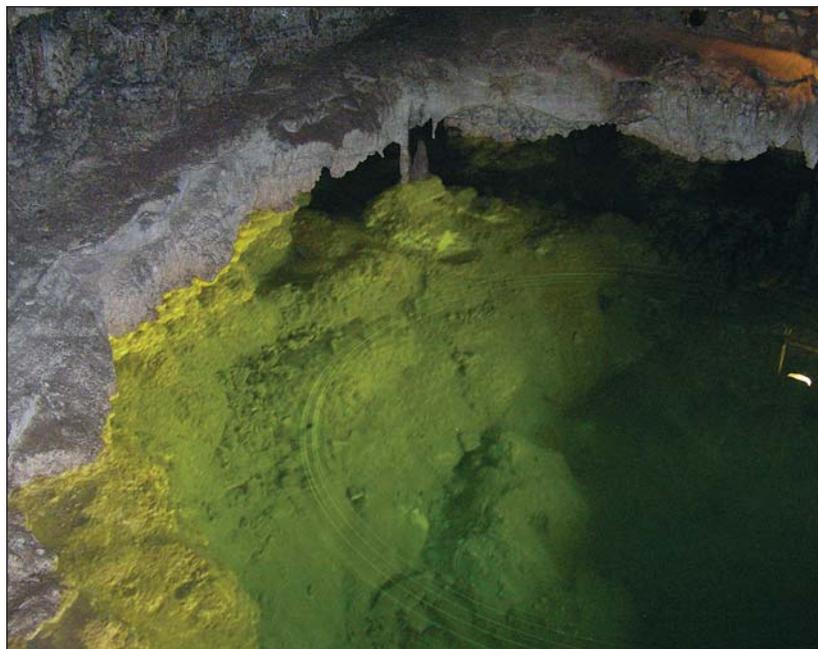
Главная гряда Горного Крыма — уникальная область развития классического карста (от южнославянского слова «крас» — «страна камня», так названо плато в Словении, где это явление впервые получило научное объяснение и описание). Чатыр-Даг — один из массивов, где можно наблюдать почти все богатство карстовых форм. Он — настоящий музей, который создавался миллионы лет и по праву входит в число наиболее замечательных памятников крымской природы. Среди его величественных пещер есть удивительные, которые можно поставить в один ряд с самыми известными подземными дворцами мира.

На Чатыр-Даге карстует, т.е. растворяется атмосферными осадками мощная толща чистых трещиноватых мраморовидных известняков верхней юры, слагающая вершинную часть массива. Возраст известняков достигает 150 млн лет, однако карстовые процессы стали развиваться здесь лишь со времени активных поднятий Горного Крыма в плиоцене (4—5 млн лет назад). Дождевые и талые воды, взаимодействуя с углекислым газом, содержащимся в воздухе и почве, приобретают свойства слабой кислоты. Под ее воздействием известняки выщелачиваются. На их поверхности появляются неровности — многочисленные бороздки, трубчатые отверстия, щели, поноры, воронки. Последние достигают на Чатыр-Даге 250 м в диаметре и 50—60 м глубины. Проникая в породу по трещинам все глубже и глубже, вода создает вертикальные каналы,

которые постепенно углубляются и расширяются. Когда в известняковом массиве на пути подземных вод встречаются пласты, плохо поддающиеся растворению, или на дне пустот накапливается глина (нерастворимый остаток известняков), рост полостей в глубину приостанавливается. Начинают образовываться пещеры с извилистыми галереями и обширными залами. Высота их в купольной части достигает 25 м. Часто пещеры становятся многоэтажными — залы соединяются коридорами и вертикальными ходами. Изучение карстовых образований подтверждает великую растворяющую способность воды. Наблюдения за количеством извести, выносимой в растворенном состоянии одним только Аянским источником (а всего их здесь более 80!) показали, что карстовые пустоты здесь ежегодно увеличиваются на 7260 м<sup>3</sup> [1].

Все полости, образованные в результате воздействия воды на породу, называют либо поверхностными, либо подземными. Поверхностные карстовые формы (поноры и воронки) со временем переходят в подземные (колодцы, шахты и пещеры). Если пещеры — это горизонтальные и наклонные полости, то колодцы и шахты — вертикальные. Глубина колодцев обычно не превышает нескольких десятков метров, а шахты достигают нескольких сотен метров. Входы многих пещер расположены в скалистых бортах воронок. Подавляющее большинство подземных карстовых форм (в том числе самые глубокие шахты) находится в центральной и юго-восточной части нижнего плато. Всего на Чатыр-Даге обнаружено и исследовано около 150 пещер, колодцев и шахт [2]. В качестве туристических объектов карстовые полости Чатыр-Дага разделяют на две группы: спортивные, доступ в которые затруднен естественными препятствиями, и общедоступные. К первой группе обычно относят вертикальные или наклонные полости протяженностью свыше 20 м. Как правило, они заканчиваются небольшими камерами с глыбово-щебнистым завалом. Самая значительная на Чатыр-Даге шахта — «Ход Конем». Серия ее колодцев углубляется более чем на 200 м. Во вторую группу входят горизонтально-наклонные пещеры и неглубокие (до 10 м) колодцы, посещение которых не требует особой спортивной подготовки и специального снаряжения. Температура воздуха в пещерах примерно одинакова в течение года и составляет около 10°C.

В уже сформировавшихся подземных полостях в определенных условиях начинают осаждаться ранее растворенные в воде кальцит и арагонит ( $\text{CaCO}_3$ ), различающиеся строением кристаллической решетки. Пышное убранство подземного царства поражает своим исключительным разнообразием и ве-



Миниатюрное подземное озеро.

ликолепием. В подземных лабиринтах Чатыр-Дага встречаются практически все известные в пещерах разновидности натечных форм кальцита, облик которых во многом определяется характером движения подземных вод. Готические своды украшают сталактиты, напоминающие тончайшие, прозрачные, как хрусталь, трубочки; сосульки с утолщенными концами или конические пики, свисающие с потолка, иногда почти до самого пола. В причудливых формах стремящихся ввысь узорчатых сталагмитов воображение находит героев сказок и таинственных фантастических животных. Купольные своды подпираются могучими ребристыми золотисто-желтыми колоннами весом в несколько сотен тонн. Особой красотой отличаются украшающие стены ажурные драпировки, тяжелые кружевные занавеси и легкая бахрома, скрывающие продолжения залов. Каскадные натечи, подобно застывшим водопадам, волнистыми ступенями поднимаются к каменным сводам. Интересны своеобразные известковые ребра, словно несущие конструкции купола,

уходящие вверх. Пещеры — царство контрастов. Гигантские формы проявления кальцита нередко соседствуют с микроскопическими. Так, в «Бездонном Колодце» обнаружен волокнистый кальцит с толщиной кристалликов-иглочек всего в тысячные доли миллиметра. Встречаются целые гроздья каменных цветов, которые иногда необыкновенно точно копируют форму живых двойников — астру, ландыш, розу. Нельзя пройти и мимо кораллитов, напоминающих современные колониальные кораллы. На поверхности миниатюрных озерцов и в нишах-ванночках иногда образуется плавающая кальцитовая пленочка, «обитают» трогательные мелкие колючие «ежики», ошетилившиеся тонкими иглами кристаллов. Местами встречаются «кометы» из кальцита с характерными «головой» и «хвостом». Одна из достопримечательностей пещер — причудливые геликтиты, образованные кристаллами кальцита, которые растут в разные стороны. Они то скручиваются в спирали, то свиваются в клубки, то змейками ползут по сте-



Остатки скелетов животных ледникового периода.

нам. Иногда в пещерах встречаются изумительной красоты натечные формы с перламутровой поверхностью. Освещение их лампой-вспышкой нередко вызывает белое, зеленоватое или голубое послесвечение, длящееся несколько секунд. Особый интерес представляют редкие находки пещерного жемчуга, названного так за удивительное сходство с обычным жемчугом. В Крыму он был впервые обнаружен в 1959 г. именно на Чатыр-Даге, в шахте «Бездонной». В небольших ванночках с водой можно встретить от нескольких штук до нескольких тысяч жемчужин. На одном из участков шахты было описано их рекордное количество (16 185) [3]. Размер «жемчужинок» колеблется от десятых долей миллиметра до 2–3 см. Форма их обычно

сферическая, эллипсоидальная, неправильно-округлая или лепешковидная. Цвет — молочно-белый, серый, желтый и охристо-желтый разных оттенков. Блеск — матовый, тусклый, иногда перламутровый с характерным отливом. В отличие от жемчуга из раковин моллюсков, пещерный жемчуг представляет собой чисто минеральное вещество, но он также имеет зональное строение, а часто и внутреннее ядро (песчинку, частичку глины, мелкие косточки животных), которое служит своеобразным центром кристаллизации. Затравочная частица движется в ванночке за счет проточной воды или капли и слой за слоем покрывается карбонатом кальция. У крупных жемчужин наблюдается до 180–200 концентрических слоев [3].

## Литература

1. Ена В.Г. Заповедные ландшафты Крыма. Симферополь, 1989.
2. Душевский В.П., Шутков Ю.И. Чатыр-Даг: Путеводитель. Симферополь, 1987.
3. Полжанов Ю.А. Минералы Крыма. Симферополь, 1989.

При вращении образуются жемчужины идеальной формы. Тяжелые шарики утрачивают симметричную форму, могут прирасти ко дну и превратиться в округлые бугорчатые выросты.

В некоторых пещерах встречаются натечные образования, сложенные мраморным ониксом (плотной полосчатой разновидностью кальцита), рисунок которого подчеркивается различием окраски чередующихся полос. Характерно сочетание серого, коричневого, желто-бурого и красноватого цветов с белым. В карстовой шахте «Ход Конем» обнаружены и кристаллы исландского шпата (бесцветной прозрачной разновидности кальцита) размером до 40 см [3], а также друзы более мелких его кристаллов.

В пещерах из-за особых температурных условий образуются и сохраняются красивые ледяные натечные образования. Эффективный декоративный элемент многих залов — огромные глыбовые навалы, возникшие, вероятно, после произошедших в этих местах землетрясений.

На дне пещер обнаруживаются и костные остатки животных, существовавших здесь около 50 тыс. лет назад. Среди них — первобытный бык, пещерный медведь, гигантский олень, носорог, мамонт и другие древние обитатели Горного Крыма.

Карстовые пещеры Чатыр-Дага представляют собой удивительный природный феномен, изучение которого приносит чувство глубокого душевного покоя и слитности с окружающей природой. ■

# «Песочное золото» в России: путешествие Матвея Снегирева в 1790 году

Е.Ф.Бурштейн,  
кандидат геолого-минералогических наук  
Москва

*...Многие думают и говорят, что в Сибири или инде золотые руды быть имеют, потому что в смежном... государстве Китайском множество золота находится... и по словесным некоторым людей сказаниям, китайцы не столько золота из гор копают, колико в реках промыванием собирают.*

В.Н.Татищев, 1736 г.

Путешествию, о котором пойдет речь, в сводке В.А.Обручева уделено несколько строк: «Бергауэр\* Снегирев был послан в Тарбагатай посмотреть россыпи золота, о которых давно уже сообщали бухарские купцы; выдержки из его отчета дал Герман. Золото моют на южном склоне по речке Карангур; описан способ промывки... Там же добывают каменный уголь...» [1. С.39]. Источник — книга Б.Ф.(И.Ф.)Германа [2]. В ней даны переведенные на немецкий язык выдержки из отчета Снегирева, возможно, и сейчас хранимого в архиве Барнаула, в то время — центра горного округа. Позднее нашлась более поздняя публикация отчета и на русском языке [3]. Чтобы понять значение поездки, необходим экскурс в начало XVIII в., а затем и в будущее.

## Слухи и сведения

О золоте из песка, добываемом в Центральной Азии, писал еще Геродот, упоминая пустыни к северу от Индии, затем, в XVI в., — Агрикола, а вездесущие купцы сообщали и позднее. Когда Россия, дойдя в XVII в. до восточных

\* Бергауэр — квалифицированный горнорабочий. В 1790 г. М.Снегирев был унтер-штейгером (горным унтер-офицером).

морей, соприкоснулась на юге с владениями Китая, Монголии (Халха), Джунгарского и Казахского ханств, а через Каспий — со Средней Азией, этим занялся Петр I. Основное внимание царя поглощала Северная война (1700—1721), и в Сибири целью было изыскание серебра и золота. Серебряный прииск Каштак (1690-е годы) в Кузнецком Алатау не оправдал себя. Забайкалье в 1704 г. дало казне 1.5 фунта серебра, затем, до 1740-х годов — 1—15 пудов в год [4].

Петр I стремился проникнуть в Индию и соседние страны, перехватить часть торговли с ними, но главное — овладеть источниками золота. В начале 1714 г. Ходжа Нефес сообщил ему, что в р.Амударье есть золотой песок, но Хивинское ханство (Государство Хорезм со столицей в Хиве. — *Е.Б.*), чтобы скрыть его от России, отвело реку в Арал. Разрушив плотину, можно вновь направить Амударью в Каспий и добывать золото [5, 6]. Тогда же царь получил письмо губернатора Сибири князя М.П.Гагарина: «Городок калмыцкой Эркет\*\*, под которым на реке Дарье промышляют песочное золото, в расстоянии от Тобольска, по сказке эркетских жителей, что доходят из Эркета до Тары в полтретья месяца\*\*\*, а от

\*\* Эркет (Иркет, Эркен, Яркань и т. п.) — город Яркенд в Восточном Туркестане.

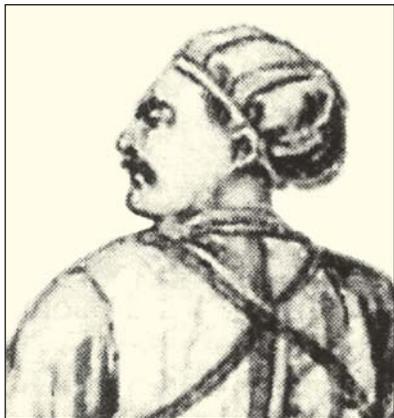
\*\*\* Два с половиной месяца. Огромность расстояния Гагарин не скрывал.

Тары до Тобольска в пять дней. И если соизволит Ваше Величество промысл чинить к тому месту из Тобольска, то... поселиться городами к тому месту: того ради, что от Ямышева озера и до Эркета... кочуют калмыки с контайшею\*\*\*\* тридцать тысяч человек. Путь к тому месту лежит от Тобольска до половины реки Иртыша... И первой город надлежит делать... у Ямышева озера, и оттоле... делать иные города. На строение оных крепостей, тамож и на содержание их, кроме офицеров и инженера... надлежит быть регулярным двум или трем полкам, и те полки набрать в Сибири...» [5. С.473—474]. К письму он приложил пробу купленного у бухарцев в Тобольске «песочного золота» из Яркенда. Еще в 1713 г. князь послал в Джунгарию и ближний Китай Ф.Трушникову, чтобы разведать об этом. Несмотря на отсутствие карт и скудость данных, царь решил действовать на обоих направлениях: и в Сибири, и в Средней Азии.

## Хивинский поход

Решить «золотую» задачу Петр поручил князю Александру Беквичу-Черкасскому. В 1714—1715 гг. тот изучил часть берегов Каспия, наметив места крепостей. В 1716 г. ему было веле-

\*\*\*\* Контайша (хунтайджи) — властитель Джунгарского ханства.



Портрет князя Александра Бековича-Черкасского (www.ruspeople.clow.ru).

но: построить первую у старого устья Амударьи, а экспедицию в Хиву маскировать под посольство и торговый караван. Затем ему вменялось: изучить оба русла, плотину и, «ежели возможно, оную воду пока обратить в старый ток... прочие устья запереть, которые идут в Аральское море».

Далее — «осмотреть место... на настоящей Амударье реке для строения крепости... а буде возможно, то и тут другой город построить. <...> Хана Хивинского склонять к верности и подданству, обещая наследственное владение...». Просить хана, чтобы провез людей князя «водою по Сырдарье вверх до Иркети городка для осмотра золота» [7. №2993]. Князь получил кавалерию, пехоту, артиллерию (более 6 тыс. человек), инженеров, геодезистов. Оставив часть людей строить крепости у Каспия, двинулся к Хиве с послами, купцами и отрядом в 500 ружей. Поодаль шло войско.

Застать Ширгази-хана врасплох не удалось: его предупредили послы волжских калмыков Аюки и сбежавшие от князя проводники-туркмены. Ширгази с большим войском двинулся навстречу, но в трехдневном сражении был отброшен. После переговоров Бекович, подавленный вестью о гибели в Волге жены и дочерей, согласился, несмотря на протесты офицеров, разместить отряды в ближних

городах. Когда приказ исполнили, хивинцы напали на его отряд, затем поочередно на остальные. Бекович-Черкасский был казнен. Из Хивы вернулись единицы. Гарнизоны крепостей на Каспии ушли в Россию. Покорение Средней Азии отодвинулось на полтора века [5, 6].

### Иртышские походы

В том же 1714 году подполковник И.Д.Бухгольц получил приказ Петра I: «Ехать тебе в Тобольск и взять там... 1500 человек воинских людей и с ними идти на Ямыш озеро, где велено делать город. <...> А когда Бог поможет до Еркета дойти... и с помощью Божиею овладеете, то оный укрепить; и проведайте подлинно, каким образом и в которых местах по Дарье реке (Яркенддарье. — *Е.Б.*)... золото промышляли». [7. №2811].

Гагарин дал Бухгольцу свыше 2500 человек, и в 1715 г. тот возвел у Ямышевского озера крепость. Там добывали пищевую соль калмыки Джунгарии, казахи Среднего жуза, племена Горного Алтая и русское население бассейна р.Томи. Возведение крепости нарушило хрупкое равновесие, возмущив джунгар, которые считали эти земли своими. Зимой из Тобольска отправили к крепости караван (до 700 человек) — купцов и промышленников, охрану, офицеров, провиант и жалованье. Тут нагрянуло джунгарское войско, штурмовало крепость и проникло в нее. Калмыков удалось вытеснить, но они осадили крепость и захватили караван. Бухгольцу вручили письмо тайши\* Цэрен-Дондука о готовности к миру и торговле без посягательств на его земли. Бухгольц ответил, что Россия вправе искать близ Иртыша рудные места и строить крепости. К весне осажденные ежедневно умирали десятками от цинги и «моровой

\* Тайша (тайджи) — крупный феодал в Джунгарии.

язвы». Когда в живых осталось около 700 человек, Бухгольц крепость оставил, разрушив постройки. Их пропустили к Иртышу. Спустившись до устья р.Оми, он с разрешения Гагарина заложил Омскую крепость. Губернатор прислал в помощь 1300 рекрутов. Бухгольц сдал дела майору Вельяминову-Зернову и поехал в Тобольск, откуда был вызван в столицу [5].

Выполнение указа Петра легло на Гагарина. В 1716 г. вернулся Трушников и привез 200 лан (~2 фунта) золота из россыпей близ оз.Кукунор в Тибете и у городов Селин и Даба за Китайской стеной. Восстановили Ямышевскую крепость, послали делегацию к контайше Цэван-Рабдану с жалобой на тайшу Цэрен-Дондука и грамотой от Петра I (написанной по просьбе князя) — жить в мире, не мешая друг другу. В 1717 г. между Омской и Ямышевской крепостями построили еще Железинскую. У развалин джунгарского города Семь Палат в 1718 г. подполковник П.Ступин заложил крепость Семипалатную, послав часть людей к оз.Зайсану. Ставить крепость у озера сочли неудобным (нет леса). Вероятно, тогда наметили и места крепостей в устьях Убы и Ульбы [5].

Но Гагарин был уже в столице под следствием. В январе 1719 г. гвардии майора И.М.Лихарева послали в Тобольск опросить свидетелей «темных дел» князя, сдачи крепости Бухгольцем и «о золоте Иркетском, подлинно ль оно есть...», а также поставить крепость у Зайсана и «проведывать о пути от Зайсана к Иркети...» [7. №3294]. Лихарев привез с собой офицеров, бомбардиров, инженера. Весь 1719 год прошел за опросом свидетелей и подготовкой похода. Майор приказал\*\* Ступину заложить в устье Ульбы кре-

\*\* Лихарев имел полномочия командовать старшими по чину, отчего его нередко именовали генерал-майором. Но этот чин он получил только при Екатерине I.

пость и послал на лодках капитана А.Урезова, поручика С.Сомова и геодезиста П.Чичагова для составления карты Иртыша. Пройдя Зайсан, они обследовали дельту Черного Иртыша, установив, что ее легче пройти у левого берега [5, 8].

В мае 1720 г. Лихарев отправился с отрядом (440 человек, 13 полевых пушек, 6 мортир) на лодках вверх по Иртышу за Зайсан. На Черном Иртыше их атаковал сын контайши Галдан-Цэрен с 20-тысячным войском. Два дня отбивались, затем Лихарев заверил калмыков, что ищет истоки Иртыша и рудные места. Обменялись подарками, но пришлось повернуть назад. Близ устья р.Ульбы Лихарев оставил для достройки Усть-Каменогорской крепости Ступина и инженера Летранже с людьми. Сам вернулся в Тобольск [3, 5].

В столице обер-фискал А.Я.Нестеров, давно копивший доносы на Гагарина, посчитал сумму доходов, недополученных казной от Сибири (украденных). Князь объяснил недоимку расходами, в том числе по созданию линии крепостей, и внес наличными более 200 тыс. руб., обещав вскоре покрыть остальное. Но давний соратник Петра I князь Гагарин в марте 1721 г. после пыток был повешен с указанием — не снимать. Когда веревка прогнила и оборвалась, останки перевесили на цепи\*.

Причиной озлобления Петра был, конечно, крах попыток овладеть россыпями золота, в чем виделся умысел князя. В доносах писали, что «эркетское золото» он выдумал, чтобы получить деньги, войска и отделить Сибирь от России. Гагарин просил добавить офицеров и инженеров. Пушки, порох и прочее производили на месте. Князь имел полномочия вести внешнюю политику: в письмах казахским ханам Тауке, Каипу и Абулхаиру советовал искать защиту от джунгар в союзе с Россией;

\* В 1724 г. обер-фискал и его помощники были колесованы и обезглавлены.

с Джунгарией же налаживал торговлю [5]. Его люди ставили крепости бескровно, а опытный боевой офицер Бухгольц, выполняя жесткие предписания царя, вызвал удар, погубивший тысячи людей. Отряд Лихарева ждала та же участь, если бы усилена князя не была сгущена и продвинута по Иртышу линия крепостей и не смягчены отношения с Джунгарией.

В 1721 г. Петр I задумал новую авантюру: «Крепость Ямшевскую укрепить и оселить, а прочие разорить... С Контайшею сделать мир и завести купечество с ним, также с Китайским(и) городам(и) Селим и Даба, также и к жилищу Далай-Ламы... посылать с купцами искусных людей... дабы высмотреть о золоте, где родится и сколько, и каков путь, и мочно ли... овладеть тем местом» [7. №3716]. Крепости все же не снесли: контайша не отказался от прав на земли по Иртышу. Стремление действовать в центре Азии силой, не останавливаясь и перед Китайской стеной, говорит о недооценке Петром I того, что, в отличие от тайги, здесь были государства с армиями и опытом ведения войн. Позднее по докладу В.И.Геннина он все же издал указ «О строении по границам Сибири крепостей для защищения Сибирских заводов...» [7. №4518]. Важным звеном системы укрепленных линий, через полвека протянувшихся от Каспия до Кузнецка, стала Иртышская, создание которой неразрывно связано с именем князя Гагарина.

### Еще три четверти века

После Петра I при частой смене правителей и правительниц России о «песочном золоте» на время забыли. С 1725 г. А.Демидов стал осваивать медные руды в предгорьях Алтая. Позднее в них нашли свинец и серебро. При Елизавете Петровне демидовские Колывано-Воскресенские заводы перешли к импера-



Первый губернатор Сибири князь М.П.Гагарин. Медаль А.В.Бакланова, 2008 ([www.coinmedalist.narod.ru/medalери/Baklanov\\_AV](http://www.coinmedalist.narod.ru/medalери/Baklanov_AV)).

торскому Кабинету (1747), вскоре опередив Нерчинские по выплавке серебра, из которого извлекали и немного золота. В 1745 г. на Среднем Урале старовер Ерофей Марков нашел признаки золота, и в 1748 г. там открыли первое в России жильное Березовское месторождение.

В 1756—1758 гг. Китай разгромил Джунгарию и посчитал своими те земли Алтая и Казахских степей, с которых калмыки собирали дань. Но вступать в противоборство с Россией и с казахским Средним жузом, ставшим под российскую корону, китайцы не стали. Однако выставили цепочку караулов и пропускали казахов на их летние пастбища за плату [9]. Это побудило Елизавету подчеркнуть (1761), что горы от Колывани до оз.Зайсан, ранее занятые «зенгорцами» (джунгарами), «в рассуждении находимых там дорогих металлов к владению Российской Империи присовокупить нужно» [7. №11185].

М.В.Ломоносов, изучив в Саксонии горное дело, знал о россыпях золота в Западной Европе. Его предложение о сборе по всей России проб песков для выявления драгоценного металла Сенат вернул на усмотрение Канцелярии Императорской академии наук [7. №11292]. Как и Агрикола, Ломоносов связы-

вал россыпи с переотложением золота рудных жил в долинах, но и это не подвигло горные округа к поискам.

Между тем золотинки Марков нашел в «наносах». И при детальном поисках начальство приказало опробовать пески на золото. Но после открытия коренных жил внимание перешло на них [10]. Подобные же находки случались не раз. В 1764 г. в даче Уфалейского завода обнаружили «верховые руды» (вероятно, золото в песках с обломками руды), но не сочли их достойными внимания [11. С.294]. (В XIX в. здесь разведывают россыпь.) В 1774—1775 гг. при проходе дренажной штольни у Ключевского рудника встречали пески с золотом, добыв ~700 пудов. Из Екатеринбурга велели отправить большую пробу в Берг-коллегию. Не послали, хотя летом 1775 г. добыли еще 3500 пудов песков, содержащих в среднем более 2 золотников на 100 пудов (~5 г/т), но дальше опытов не пошли [10].

На Алтае открытия в 1784 г. Бухтарминского (медного) месторождения, а в 1786 г. в верховьях Ульбы — Риддерского (медно-серебряно-свинцового) позволили поставить крепость за р.Бухтармой. Южнее согласованной с Китаем границы не было.

## Путешествие Матвея Снегирева

Источники, излагающие отчет Снегирева, не идентичны. Немецкий язык академика Германа [2] близок к литературному, но отчет сокращен, ряд названий и имен искажены. Текст опытного и зоркого, но не имевшего горного образования Снегирева содержал детали, важные в полосе границы.

За основу в этой статье принят перевод из книги Германа со вставками из отчета самого Матвея Снегирева [3]. Указаны разночтения. Казахские названия и имена приближены к при-

нятым в Казахстане. Купец Абдул Умеев [3] или Утеев [2], названный татаринном [2], ташкентцем или томским татаринном [3], был, вероятно, бухарским купцом (Ташкент входил в Бухарское ханство), приписанным к Томской обл. Казахстан в текстах именовали киргизами. Большинство «китайцев» — тюркоязычные жители Синьцзяна. Пояснения в тексте выделены мною курсивом. Итак...

В 1790 г. в Усть-Каменогорске купец Абдул Умеев сообщил о месторождении золота в Казахской степи, на притоке р.Чар-Гурбан (*ныне Чар*). Для его поисков и последующего осмотра горное начальство послало с Абдулом унтер-штейгера Локтевского завода Матвея Снегирева. Они выехали из Бухтарминской крепости 10 сентября. Проехав 35 верст вверх по Иртышу, переправились на левый берег у Вороньего острова, где «старшина» волости казах Куилы\* дал им проводника Женбека. Абдул сказал, что надлежит разыскать казахов, продававших золото: в Мурунской волости Токсан-бая и Иртыш-бая\*\*, а по р.Аблакетке сына Энбалина.

Двигаясь вверх по Иртышу, отряд пересек горы Калбы, поросшие сосной. (*Сосна растет здесь на гранитах.*) Проехав около 110 верст, у речки Курумсу увидели каменную будку, где обычно летом стоял китайский пикет. В том году его не было. Далее ехали степью, покрытой галечником (*остатки аллювия Иртыша на глинах неогена*). Переехав речку Якшиба, текущую от Тарбагатая, достигли мест, где Абдул разыскал Токсан-бая и Иртыш-бая. Они сказали, что торговали золотом в изделиях и о месторождении

\* У И.Г.Андреева [9] имя старшины этой волости — Койля. Казахскую «волость» [3] Герман именует Ulusse (улус) [2].

\*\* Вряд ли это собственные имена (далее упомянут еще Элю-бай). По-казахски, «бай» — богатый, хозяин; «токсан» и «элю» — 90 и 50; возможно, это число кибиток подвластных баю людей.

не слышали. Знают лишь, что за Тарбагатаем на речке Караунгур близ Чугучака китайцы моют золото, а сын Энбалина кочует на правой стороне Иртыша за оз.Зайсан.

Достигнув подножья Тарбагатая, сложенного синеватым сланцем, вновь увидели каменные будки (караул стоит здесь до 1 сентября). Хребет был покрыт снегом; проводник уверял, что снег лежит тут и летом. Переехав горы (*через перевал Хабар-асу*), у южного подножья также увидели пустые домики стражи. Остановились в кочевье казахов на речке Хабар, в шести верстах от крепости Чугучака, чтобы дать отдых лошадям. Снегирев осмотрел две горы над ручьем (*вершины г.Бокты*), сложенные сливным голубым сланцем, вскрытым выработками. Из него строят дома в Чугучаке. Женбек послал сына показать место, где моют золото. Скрытно миновав сопку, где караул стоял круглый год, на склоне хребта достигли р.Караунгур шириной 2—2.5 сажени. Ее берега состоят из мелкого орешника (*гравия*) с множеством ям. Людей не видели («и не хотели видеть» [3]).

Сын Женбека поведал, что китайцы вначале копают на берегу яму, на ней ставят широкие доски (*вероятно, сколоченный из досок желоб, где песок отделялся водой от глины и гравия*), а за ними решета. Потом запускают ручей, чтобы вода устремилась в яму и поверх нее. Песок с берега бросают на доски. Он выносится оттуда потоком воды в решето над выработкой. Крупный песок (*гравий*) с решета отбрасывают в отвал, а мелкий падает в яму. Из него, спустив воду, добывают золото [3], «неоднократно промывая на лотке» [2]. Рассказ подтверждали оставленные решета и плотинки. Снегирев взял из ям две пробы песка.

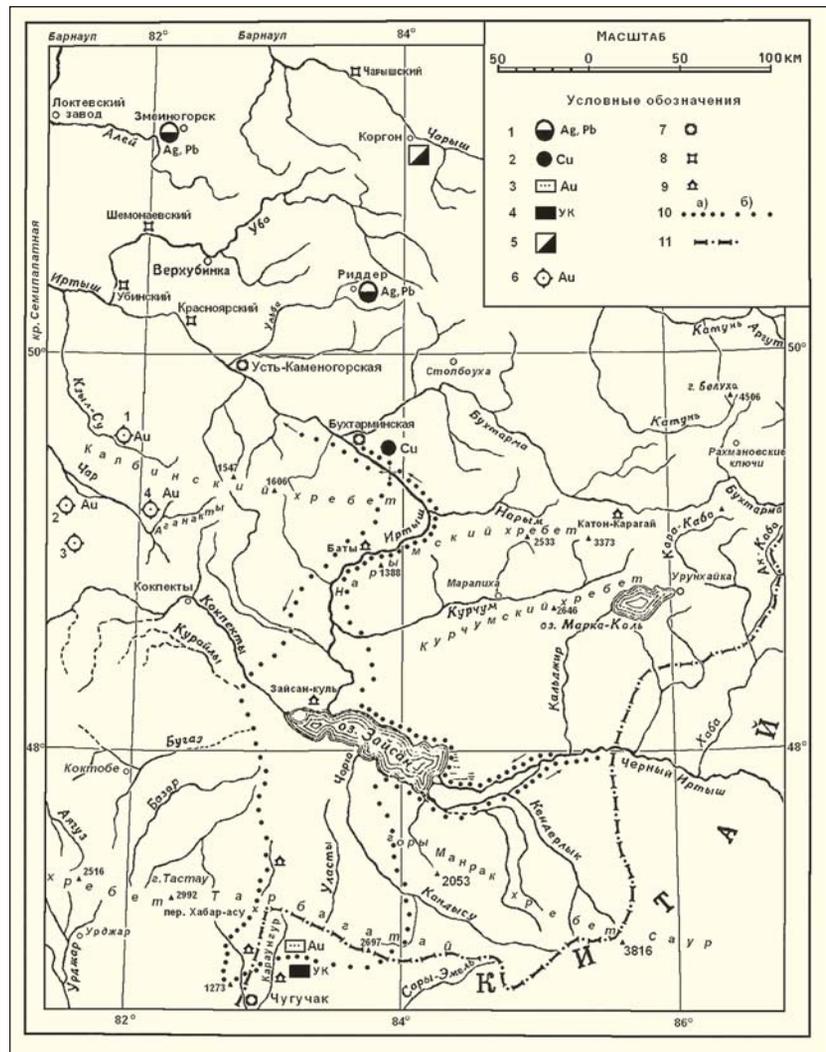
Это место отстояло от Чугучака на 30 верст с небольшим. Отъехав от речки, сын Женбека показал сопку, где добывают ка-

менный уголь: в городе им топят печи, разжигая дровами. Перехав Тарбагатай, на сопках у речки Сарак (*Терсайрык*) видели порфир и гранит. Далее около 60 верст ехали степью, покрытой галечником; перешли каменистую речку Коинши (*Каинды*) шириной 5–6 сажен, затем горы Магарак (*Манрак, отрог хребта Саур*) — и еще через 15 верст достигли оз.Зайсан. Абдул поехал искать Энбалина-сына, а Снегиреву с Женбеком и работником велел ехать левым берегом Черного Иртыша, а ждать его на правом, в улусе Барангай.

Проехав озеро, проделали 150 верст вверх по Черному Иртышу. Река была шириной 7–10 сажен, с быстрым течением, каменистыми берегами и дном. По берегам — рощи осины, тополя, ивы. Не найдя брода, переплыли на лошадях, проехали около 60 верст вниз и стали ждать Абдула. Тот, приехав, сообщил, что сын Энбалина умер, а другой сын, Машан, в отъезде. Он привез казаха Махмуда, тоже знавшего это место, но тот наутро отказался ехать («как видно, будучи наущен другими, где ночевали» [3]) и тайно бежал, оставив лошадь.

Было уже 21 октября, стояла ранняя зима, снег был довольно глубок. Стало ясно, что опробовать жилу, даже найти ее место, не удастся. Абдул оставил Снегиреву работника и Женбека, а сам поехал в горы Калбы, чтобы найти древнюю копь. Отряд Снегирева спустился к Зайсану и проехал вдоль озера, окаймленного рощами тополей. От Зайсана до речки Курчума пересекли горы (*Курчумский хр.*), от Курчума приблизились к Иртышу (*объезжая Нарымский хр.*). Достигнув Вороньего острова, опять перешли на левый берег (*уже по льду*) и 8 ноября, вновь перейдя Иртыш\*, прибыли в Усть-Каменогорск, откуда комендант князь

\* Переправы по тонкому льду были опасны, но перейти более быструю Бухтарму в период ледостава было невозможно.



Маршрут путешествия М.Снегирева. 1790 г. (составил Е.Ф.Бурштейн [3, 12]). Месторождения: 1 — серебро-свинцовые, 2 — медное Бухтарминское, 3 — россыпного золота Караунгур, 4 — каменного угля Чугучак, 5 — поделочного камня Коргон; 6 — жильного золота, осмотренные В.А.Обручевым (1911): Казаншункур (1), Акжал (2), Боко (3); предполагаемое близ р.Аганакты (4); 7 — крепости; 8 — редуты; 9 — китайские караулы; 10 — маршрут М.Снегирева (а — достоверный; б — предполагаемый); 11 — современная граница КНР с Россией и Казахстаном.

С.Д.Эристов отправил Снегирева в Локтевский завод [3].

Абдул вернулся 21 ноября. Он застал Машана. Тот показал ему место древней копи в вершинах\*\* речки Агнакатки (*Аганакты*), притока р.Чар-Гурбан, на небольшой возвышенности

\*\* Здесь вероятно ошибка (Абдул приезжал в отсутствие Снегирева). На современной карте описанию соответствует место на правом берегу Аганакты, близ устья.

между двух гор. На вершине одной из них рос березовый лес, ниже текли три ключа, соединяясь у реки. От аблайкитских палат (*развалин буддийского храма и культурного центра Джунгарии XVII в.*) до него около 30 в. Рядом — дорога к Элюбаю. Место Абдул обозначил и в любое время обещал найти. Машан это подтвердил [3].

В следующем году обербергмейстер В.С.Чулков с конвоем проехал от Аблайкита око-



Рисунки у входа в древнюю штольню на руднике Казаншункур [12].

ло 160 верст, но в указанном месте нашли лишь кварц, немного серного колчедана и железной слюдки [2]. Судя по пройденному расстоянию, он видел другую жилу. (Обручев встречал в древних копиях Калбы жилы без признаков золота и предположил, что из них извлекали касситерит —  $\text{SnO}_2$  [12]. Потом это подтвердилось.)

Снегирев (как и С.И.Гуляев в середине XIX в. [3]) считал поездку неудачной, поскольку жилу не опробовал. Данным же о россыпи, напротив, не придали значения, тем более что и в пробах золота не нашли\*. Поздняя осень — не лучшая пора для путешествия, но в это время снималась часть караулов, о чем знали Абдул и его спутники-казахи, имевшие свои интересы за Тарбагатаем. Герман, напротив, подчеркнул, «сколь успешным было путешествие... чтобы в этой степи разыскать золотоносный песок...» [2. С.102].

Итоги тайной поездки Снегирева и купца Абдула через границу объективно были значительны: выяснилась часть вопросов, попытки решения которых при Петре I унесли многие тысячи жизней и огромные средства. Было установлено: *вблизи верхнего Иртыша, на тысячу с лиш-*

\*Пробы могли быть из песка, промытого китайцами; кроме того, на Локтевском заводе песок истирали в толчее, и золотая «пыль» при промывке уносилась.

ним верст ближе Яркенда и недалеко от горного округа, существует промышленная россыпь золота. Оказались ценными и запись рассказа о разработке россыпи, и беглые сведения о горных породах Тарбагатая, и данные о перевалах, бродах, населении, расположении караулов и др. (на случай конфликта с Китаем).

Поиски древних золотых копей в Калбе возобновились на рубеже XIX—XX вв. Обручев в 1911 г. осмотрел золотые прииски на жилах вблизи рек Чар и Кызылсу, где сохранились копи, местами с артефактами неолита [12]. Присутствие коренного золота близ речки Аганакты, одного из истоков р.Чар, подтверждают известные по ней и Чару россыпи, недавно упомянутые в документах (Постановление правительства Республики Казахстан №833. Алматы, 1998).

Вернемся к рубежу XVIII—XIX вв. В Барнауле не оценили сведений о новом источнике золота. Чем объяснить равнодушие Екатерины II и ее Кабинета? Возможно, тем, что в конце правления она считалась лишь с мнением последнего фаворита — П.Зубова. Новый монарх Павел I в 1796 г. передал горные округа Кабинета в Берг-коллегию. Переворот 1801 г. вернул их кабинету, но руководили им уже другие люди.

В 1791 г. Г.Г.Зырянов открыл за Бухтармой по древним копиям месторождение серебра, свинца и попутного золота. Уже в 1792 г. по Иртышу выше Бухтармы строят редуты Красный Яр, Черемшанский и Вороний [3]. В 1801 г. в районе Зыряновского рудника Матвей Снегирев открывает прииск с медью, свинцом, серебром. Позднее Снегиревское месторождение, положительно оцененное А.П.Шангиным [13], неоднократно разрабатывалось. В 1807 г. село Мельничные Ключи на Бухтарме переименовали в Снегирево, вероятно, уже после смерти рудоискателя.

## И еще треть века

Столько времени отделяет поездку Снегирева от признания «песошного золота» достойным поисков и освоения на Урале, а затем в Южной Сибири. Различия мнений о значении связанных с этим событий и приоритете причастных к ним лиц требуют особого рассмотрения. Ограничимся перечислением.

На Березовских рудниках в 1790—1800 гг. добыли еще ~5000 пудов песков, содержащих золото, но не обработали их. В 1797 г. партия Е.И.Мечникова на речке Ташкутарганке близ Миасса открыла первый на Южном Урале прииск жильного золота. Там же извлекалось в 1800 г. золото из песков, хотя поначалу — с низкими содержаниями [11. С.295].

Академик Герман (1801) опубликовал описание путешествия Матвея Снегирева [3. С.102—107]; реакции на это в Петербурге не было. В 1804 г. обер-берггауптмана П.Ф.Ильмана прислали на Березовские рудники — улучшить извлечение золота из россыпей. Ему построили машины для промывки и толчения песков и добыли их 33 450 пудов. Он стал вести опыты, однако из-за неприязни к нему начальника заводов Урала Германа (оба — члены Берг-коллегии) был вынужден их прекратить. После его отъезда около 3100 пудов песков перевезли на завод и около 2400 пудов обработали прежними методами, получив золота всего 6 золотников\*\*. Герман приказал пески больше не трогать. Ильман подал в Берг-коллегию доклад о перспективности россыпей, но ее президент, генерал от артиллерии А.И.Корсаков, видимо, доверял академику [13].

Но вот в 1809 г. в желудках теревов, добытых близ Балаганска на Ангаре, обнаружили золотинки. Уральский берггешворен Яковлев в 1810 г. в поисках россыпей объехал площадь от Брат-

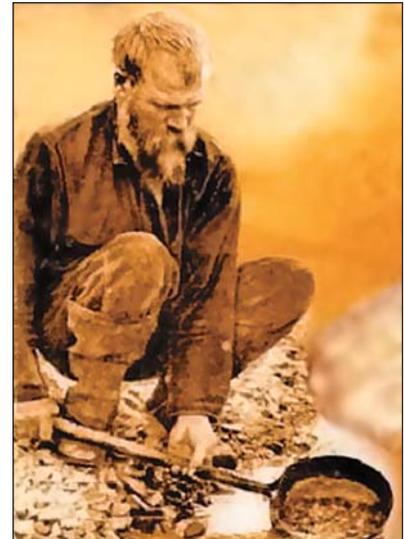
\*\* В.В.Данилевский [12. С.115] приписал эти результаты Ильману, что неверно.

ска на Ангаре до подножий Восточного Саяна и хребта Хамардабан, сделал ряд важных наблюдений, но золота не видел, хотя пробы отмывались на лотке [10]. Сейчас ясно, что местами он буквально «ходил по золоту».

В канун войны 1812 г. вышел указ (частично восстановивший указ Петра I о горной свободе), разрешивший частным лицам искать и добывать золото и серебро [7. №25119], но заметных результатов это не дало. В 1814 г. Л.И.Брусницын, штейгер Березовских рудников пришел к выводам: искать россыпи нужно в долинах (тяжелое золото скатывается вниз), а речным пескам достаточно промывки без истирания, превращающего часть золота в «пыль», уносимую водой [10, 14]. В 1815 г. на Березовских рудниках получили полтора, а в 1816 — шесть пудов россыпного золота. Широкие поиски и освоение россыпей вблизи казенных рудников Среднего Урала привели к тому, что к 1823 г. из 55 рудников работали шесть, а добыча россыпного золота достигла 105 пудов в год, многократно превысив добычу из коренных руд [14].

Работа Временной комиссии по развитию добычи золота на Урале во главе с В.Ю.Соймоновым при министре финансов Е.Ф.Канкрине стала важным рубежом в истории россыпного золота России. Уже в мае 1823 г. в разные районы направили 19 геогностических партий и 12 групп рудоискателей. Среди результатов выделяется открытие на площади близ Миасса (назначенной в 1799 г. Мечниковым) россыпей с обилием самородков. Оживились частные заводы: в 1823 г. они добыли вдвое больше золота, чем казенные [10, 14]. В 1824 г. Соймонов составил руководство партиям по геогностическому описанию Урала и поискам руд и россыпей золота. Указ 1824 г. облегчил получение разрешений на поиски россыпей частным лицам, в основном из купцов.

Первую богатую россыпь в Кузнецком Алатау освоила партия Андрея Попова по следам открывшего ее ссыльного старовера Егора Лесного, убитого при неясных обстоятельствах [10]. Так началась золотая лихорадка XIX в., охватившая один за другим регионы Южной Си-



Старатель-одиночка. Промывка пробы в плоском сибирском ковше. Фото XIX в. из Миасского краеведческого музея.

бири — от гор Калбы на западе до бассейна Амура на востоке. Добыча золота возросла в десятки раз. Если в XVIII в. было получено около 5 т золота в основном из руд, то в XIX в. — около 2000 т, в основном из россыпей [15]. Но это отдельная история. ■

## Литература

1. Обручев В.А. История геологического исследования Сибири. Период I. Л., 1931.
2. Нертман В.Ф. Mineralogische Reisen in Sibirien. Bd. III. St.-Pet., 1801.
3. Гуляев С.И. Заметки об Иртыше и странах им орошаемых. // Вестник ИРГО. СПб., 1851. Ч.3. Отд.4. С.1—59. Приложение 3: Поездка унтер-штейгера Снегирева в Киргизскую степь в 1790 г. С.80—88.
4. Соколовский Л. Взгляд на серебряное производство Нерчинских заводов // Горн. журн. 1836. Т.III. №9. С.658—668.
5. Миллер Г.Ф. История Сибири. Т.3. М., 2005.
6. Абдурасулов У.А. К вопросу о борьбе с попытками внешней экспансии в Хивинском ханстве в 1-й половине XVIII в. // История Узбекистана. 2002. №2. С.12—19.
7. Полное собрание законов Российской империи. Собр. I: В 40 т. СПб., 1830.
8. Княжецкая Е.А. Новые сведения об экспедиции И.М.Лихарева // Страны и народы Востока. Вып.26. Кн.3. М., 1989. С.10—35.
9. Андреев И.Г. Описание средней орды киргиз-кайсаков (1785). Алматы, 1998.
10. Данилевский В.В. Русское золото. М., 1959.
11. Чупин Н.К. Записка о горном управлении и горном промысле на Урале в царствование Александра I // Горн. журн. 1878. Т.III. №8—9. С.296—318.
12. Обручев В.А. Мои путешествия по Сибири. М., 1948.
13. Шангин А. Описание Колывано-Воскресенских рудников. М., 1808.
14. Максимов М.М. Очерк о золоте. М., 1977.
15. Марфунин А.С. История золота. М., 1987.

# Эрвин Шрёдингер: яркая вспышка гения

К 125-летию со дня рождения великого ученого

Р.Н.Щербаков,  
доктор педагогических наук  
Таллин (Эстония)

Суходом гения из жизни — а для Э.Шрёдингера (1887—1961) это целых полвека — время начинает просеивать его открытия, оставляя на поверхности те из них, без которых наука уже не мыслится и которые обеспечивают бессмертие. Одно из них — важнейшее для физики уравнение Шрёдингера, выведенное им в 1926 г.

Как физик, Шрёдингер безусловно относится к крупнейшим, а его заслуги перед наукой всегда освещались достойно. При анализе событий эпохи «бури натиска» физики и историки объективно оценивают его вклад в развитие квантовой механики, с уважением относятся к его попыткам философски осмыслить тайны бытия и познания.

Эти попытки напоминают нам о том, что в личности Шрёдингера существовали и конкурировали две духовные составляющие ее. Одна из них была связана с его блестящей деятельностью в физической науке. Вторая же не раз склоняла ученого к тому, чтобы оставить науку и отдать всего себя без остатка познанию гуманитарной культуры в целом.

Но и судьба его как ученого-физика оказалась весьма непростой. Воспитанный эпохой классической науки и более всего дороживший ее ценностными нормами, он сумел создать в 38 лет принципиально новое, неклассическое с позиций классической физики, до конца дней своих будет пытаться вернуть это новое в прежнее «классическое русло» [1].

Эта раздвоенность Шрёдингера была обусловлена тем, что однажды увлекшая его логика квантовых идей не всегда могла «дружить» с логикой



Э.Шрёдингер в 1933 г., когда ему вместе с П.А.М.Дираком была присуждена Нобелевская премия по физике.

его гуманитарного мышления и подчас серьезно проигрывала ей. Не потому ли дуализм его личности интересен всем, кто тяготеет к гармоничной целостности познания природы, материи и разума?

Будущий гений теоретической физики XX в. Эрвин Шрёдингер родился 12 августа 1887 г. в Вене в семье владельца фабрики по производству клеенки. Получив домашнее, а затем и гимназическое образование, он в 1906 г. поступает в Венский университет, незадолго до этого потерявший своего блестящего ученого Л.Больцмана.

Его открытия стали для молодого Шрёдингера «первой любовью в науке» [1. С.339] и со временем побудили выполнить ряд работ по теории газов и статистической механике. Альпинист, театрал и поэт, буду-

щий физик-теоретик отдавал немало сил и времени усвоению знаний, составлявших к началу XX в. основу точных наук.

Ученые университета Ф.Экснер и Ф.Газенорль помогли молодому Шрёдингеру воспринять фундамент физики и ощутить ее красоту, оценить роль эксперимента в ней, познакомиться с теми «трещинами и щелями», что уже раскололи стройное здание прежней науки [2] и в итоге отдать свои предпочтения теоретической физике и ее методам.

По окончании учебы Шрёдингер защищает докторскую диссертацию по экспериментальной физике на традиционную для классики тему «Электрическая проводимость на поверхности изоляторов во влажном воздухе», опубликованную в «Докладах» Венской академии наук. После года в армии он начал работать в Физическом институте.

Ученый занимается электротехникой, радиоактивностью, акустикой. В теории относительно-

сти и цветометрии ученый проявит себя уже как теоретик и сформирует стиль своего поведения: «Мой интерес к вопросу всегда зависит от интереса, проявляемого к (нему) другими. Я редко говорю первое слово, но часто второе, так как побудительным фактором для него обычно оказывается желание возразить или исправить» [1. С.345].

Мировую войну Шрёдингер прошел без потерь, имея возможность при этом знакомиться с новостями науки, в частности с общей теорией относительности. Не оставляет он и занятий философией. Изучая работы Б.Спинозы, А.Шопенгауэра, Р.Авенариуса и Э.Маха, Шрёдингер осознает ее значимость в познании. В итоге его гуманитарные интересы в негласном споре с научными однажды перевешивают их. В 31 год он решает уйти в философию, сохранив лишь преподавание физики.

К этому подталкивало и неприятие им теории атома Бора: «Ее внутренние противоречия звучат как диссонансы по сравнению с неумолимо ясной последовательностью мысли Больцмана. Было время, когда я прямо-таки готов был обратиться в бегство» [1. С.339]. Но далее он отмечает: «Я был вынужден остаться при теоретической физике, и, к моему удивлению, из этого иногда кое-что выходило» [3. С.7].

В 1920 г. он вступает в брак, покидает Вену, недолго преподает в Йене, Штутгарте, Бреслау, а с 1921 г. на целых шесть лет оседает в Цюрихском политехникуме. Там он возглавил кафедру теоретической физики, которой в свое время руководили А.Эйнштейн, М.фон Лауэ и П.Дебай. Здесь Шрёдингер подружился с Дебаем, П.Шеррером и с математиком Г.Вейлем, наслаждаясь беседами с ними, наукой и самой жизнью.

Следуя традициям больцмановской школы, Шрёдингер занимается проблемами кинетики и химических реакций, применением данных об удельной теплоемкости твердых тел к газам, рядом вопросов теории колебаний и продолжает увлеченно размышлять о еще не решенных и неясных вопросах общей теории относительности Эйнштейна.

В 1918 г. Шрёдингер закончит свою работу «Компоненты энергии гравитационного поля», в 1919—1920 гг. займется метрикой цветов. С 1921 г. он обратится к квантовой теории, ставшей для физиков «наиболее хлопотным и беспокойным детищем теоретической физики» (М.Планк). К этому моменту Шрёдингер приобретает репутацию успешного ученого.

### Волновая механика: блестящий триумф и последующие разногласия

Восхождение Шрёдингера на олимп неклассической физики началось, когда ему было уже за 30. Причем яркая вспышка его гения была вызвана отнюдь не теорией относительности, вошедшей

в его жизнь вполне органично, а событиями вокруг квантовой теории Бора, которая на первых порах вызывала у него сильное раздражение.

Возникшие тогда перед полуклассической квантовой теорией Бора трудности породили у физиков подавленное настроение. Именно в эти невеселые для теории Бора годы Шрёдингер в 1922 г. публикует статью «Об одном замечательном свойстве квантовых траекторий электрона». В ней ученый на языке теории поля Вейля пытается применить квантовые условия к общей теории относительности.

Туман неясностей вокруг квантовых явлений начнет рассеиваться лишь в середине 1925 г., когда В.Гейзенберг создаст свою матричную механику, математический формализм которой был разработан им вместе с М.Борном и П.Иорданом. Но необычность аппарата новой теории и довольно абстрактные, «почти философские черты» ее содержания на первых порах отпугнут от нее большинство физиков.

Путь Шрёдингера к волновой механике начался с его знакомства с выводом Л.де Бройля о наличии у электрона волновых свойств (1923), к которому ученый вначале отнесся с недоверием. И тем не менее Дебай предложил Шрёдингеру выступить на коллоквиуме с ее анализом. Подготовка к нему обернулась для ученого открытием. Между его выступлением и появлением статей прошло несколько месяцев.

Действительно, настроенный выполнить эту просьбу, Шрёдингер, прежде чем донести существо работы до своих слушателей, попытался разобраться в ней сам. Энтузиазм его заметно возрос лишь после того, как Эйнштейн, независимо от де Бройля высказавший идею корпускулярно-волнового дуализма излучения и материи, заметил, что диссертация де Бройля заслуживает всяческого внимания.

Уже в статье «К эйнштейновской теории газа», отправленной для публикации 15 декабря 1925 г., Шрёдингер делает вывод о серьезном отношении к волновой теории частиц, «по которой они представляются в виде “пенных гребней” (“Schaumkamm”) на фоне образующих их волн излучения» [1. С.173]. Но он не принимает идею корпускулярно-волнового дуализма и сомневается в статистике Бозе—Эйнштейна.

В ходе своих собственно методических попыток, предпринятых пока с одной-единственной целью — ясно изложить идеи де Бройля на семинаре, — Шрёдингер в начале 1926 г. придет к уравнению волновой механики. Так, из обязанностей ученого как преподавателя и из научного любопытства родилось его открытие. Уже в апреле того же года он подчеркнет, что его теория была стимулирована работой де Бройля и замечаниями Эйнштейна.

В XIX в. построение теории, как правило, начиналось со связи величин с объектом изучения

и заканчивалось выводом уравнения. В XX в. наука прежде всего стремилась угадать нужный математический аппарат. Так поступали Планк, Эйнштейн и де Бройль. Тем же путем пошел и Шрёдингер, тем более что в хорошо «обжитой» им классической физике уже существовал нужный ему аппарат — волновые уравнения.

Обратившись к оптико-механической аналогии для геометрической оптики Гамильтона, Шрёдингер предположил, что она остается верной и для волновой. Движение частиц подобно распространению волн, а потому движение электрона в атоме должно, по Шрёдингеру, обнаруживать волновые свойства в областях, размеры которых сравнимы с длиной волны де Бройля этих частиц. И тогда понятие траектории исчезает.

По воспоминаниям ученого, изложенным позднее П.А.М.Дираку, поиски уравнения оказались непростыми. Рассуждая в присущем работам де Бройля стиле, он получил релятивистское волновое уравнение и решил выяснить, что будет, если, применяя его, рассчитать уровни атома водорода. В итоге обнаружил, что результаты не совпадают с опытом. Лишь потом выяснится, что не был учтен неизвестный тогда еще спин электрона.

Однако, проанализировав уравнение, он открыл для себя, что если перейти к нерелятивистскому приближению, то выводы придут в согласие с опытными данными. В нерелятивистском виде уравнение Шрёдингера уже не противоречило эксперименту, и его можно было публиковать. Время показало, что и первое его уравнение имеет научную ценность, второе же, по оценке Дирака, оказалось «неполноценным» [4. С.34].

С января 1926 г. Шрёдингер начинает публиковать в «Annalen der Physik» статью «Квантование как задача о собственных значениях». За полгода появилось целых четыре сообщения, развивающих существо и применимость волновой механики. Ее успех заключался в простоте и способности решать широкий класс задач атомной физики, в чем, кстати, лично убедились гёттинггенские авторы матричной механики.

Полученное по аналогии уравнение Шрёдингера представляет собой дифференциальное уравнение второго порядка, а его решения имеют физический смысл стоячих волн. Оно включает в себя массу электрона, его расстояние до атомного ядра, полную и потенциальную энергию электромагнитного поля, постоянную Планка и волновую функцию, смысл которой ученым по убеждению намечался толковать в рамках классики.

Шрёдингер понимает, что эволюция квантовой системы во времени предполагает изменение значений волновой функции  $\psi$ . В итоге он выяснил: для простого одномерного движения (вдоль оси  $x$ ) свободного электрона  $\psi$ -функция предстает как функция координаты  $x$  и времени  $t$ . Для придания ей смысла ему пришлось ввести  $\sqrt{-1}$ , что вызвало у него досаду: «Неприятно... примене-

ние комплексных чисел.  $\Psi$  — все-таки реальная функция» [1. С.309]. Но комплексные числа позволили ему интерпретировать  $\psi\psi^*$  как весовую функцию в конфигурационном пространстве, которая выражала распределение плотности электрического заряда в нем.

Как видим, главными элементами волновой теории в рамках быстро сформировавшейся квантовой механики становятся математический образ состояния квантовой системы в виде волновой функции и само волновое уравнение. С появлением теории и ее признанием общепринятым будет термин «уравнение Шрёдингера» (хотя сам ученый, будучи скромным человеком, всегда называл его «волновым уравнением»).

В 1927 г. был издан сборник основных работ Шрёдингера «Статьи по волновой механике». В предисловии к нему он напоминает, что в изложенных работах «имеется постепенное развитие представлений», отражающее эволюцию идей их автора. В 1928 г. сборник вышел на английском языке, а в 1933 г. — на французском. Это свидетельствовало о немалом интересе ученых Европы к его работе.

Особенно высоко оценил книгу Планк. По его мнению, «автор пишет не только ясно и необыкновенно наглядно, но, прежде всего, также и честно: он не умалчивает ни об одной серьезной трудности, с которой он столкнулся, ни о каком-либо произволе, допущенным им в его предположениях, ни о каком-либо ложном пути, который угрожает ему при дальнейшей разработке его открытия» [5. С.398].

Сама работа Шрёдингера, по воспоминаниям М.Борна, произвела на физиков впечатление «даже большее, чем открытие Планка» [6. С.72]. Ее ценность Борну виделась в том, что в ней применялись непрерывные функции и не нужно было обращаться к «некрасивой» матричной механике, а также к «запутанной» и «внутренне противоречивой» философии Бора. Ибо вычисления Шрёдингера давали интерпретацию на языке классики.

Триумф Шрёдингера превозносили как Планк, Эйнштейн и Х.А.Лоренц, так и молодые физики. (В.Паули: «Эта работа принадлежит к числу самых значительных из всех недавно опубликованных работ». Дж.Ю.Уленбек: «Уравнение Шрёдингера принесло большое облегчение, не нужно больше изучать странную математику матриц» [7. С.284, 384].) Иные, не столь восторженные, оценки открытия Шрёдингера появятся позже.

В марте того же 1926 года Шрёдингер показал, что вопреки основным установкам и исходным принципам волновой механики и матричной, которая была ему явно не по душе, матрицы Гейзенберга могут быть заменены дифференциальными уравнениями и что обе теории, каждая по своему, описывают квантовую реальность: «С чисто математической точки зрения они совершенно эквивалентны» [1. С.70].

Но, как считал Шрёдингер, обе созданные механики по своему физическому смыслу не равноценны. Свою он считал более точным и наглядным образом реальности и потому называл ее физической. Матричная же механика, хотя и не менее эффективна, по его выводам, — все же лишь формальная схема описания квантовых процессов. С этого момента он окончательно теряет интерес к ней.

К немалому удовлетворению Шрёдингера, его уравнение и система понятий явились подтверждением принципа непрерывного и наглядного описания событий. В этом он усматривал признак того рационального, что было в квантовой физике. Правда, электрону при этом пришлось поставить в соответствие «волновой пакет», допустив, что заряд «размазан» в пространстве (а это противоречило атомной структуре вещества).

Согласно Планку, значение уравнения Шрёдингера заключается в том, что с введением в него квантов создается методика, позволяющая с помощью математики «преодолевать трудную квантово-теоретическую проблему» [5. С.399]. Сам же метод, по оценке Бора, «не только является чрезвычайно мощным для трактовки конкретных проблем, но и в огромной мере разъясняет общие принципы квантовой механики» [8. С.96].

Благодаря волновой механике Борн, Гейзенберг, Йордан и Дирак обобщили ее формализм для многих частиц и на непериодическое движение. В первом случае  $\psi$ -функция переходила в абстрактную функцию в многомерном пространстве, а во втором — в функцию, задающую вероятность атомных переходов (Борн) или вероятность распределения заряда в пространстве (Паули).

На основе уравнения Шрёдингера Г.А.Гамов построил теорию  $\alpha$ -распада, Гейзенберг — квантовую теорию ферромагнетизма, О.Клейн и И.Нишина — теорию эффекта Комптона, Л.Д.Ландау — теорию диамагнетизма; Ф.Блох и Л.Бриллюэн заложили основы зонной теории твердых тел, а Дирак, Гейзенберг, Йордан и Паули — основы квантовой электродинамики и квантовой теории поля, и т.д.

Концепция дуализма, как основа механики Шрёдингера, получила подтверждение в опытах по дифракции электронов К.Дж.Дэвиссона и Л.Джермера в 1927 г. и Дж.П.Томсона и П.Тартаковского в 1928 г. В отличие от Шрёдингера, Дэвиссон прозорливо посоветует пока не отказываться от того известного факта, что электроны — это частицы, хотя в данном случае ведут себя так, как если бы были волнами.

Однако 1926 г. для Шрёдингера стал годом не только триумфа, но и скептицизма, явного или неосознанного несогласия с его трактовкой теории. Двойственность мнений о ее толковании поделила ведущих ученых на сторонников (Планк, Эйнштейн, Лоренц, фон Лауэ) и не согласных с ней (Гейзенберг, Паули, Борн, Бор). За успехом ученого последовала череда неудач, которым, казалось, не будет конца.

Сомнительным оказалось представление Шрёдингера о волновых пакетах, которые на самом деле расплываются. Этой интерпретации противоречили к тому же опыты по дифракции электронов на кристаллах и по столкновению частиц с атомами, ибо было трудно понять, каким образом при подобных процессах дисперсии волн могла сохраниться стабильность частицы, если она виделась ученым в виде группы волн.

Неясным оставалось и толкование самой волновой функции, что стимулировало открытие Борном ее вероятностной трактовки, а затем позволило Гейзенбергу сформулировать соотношение неопределенностей и помогло Бору прийти к своему принципу дополнительности. В них и ряде других важных научных открытий проявилось эвристическое значение волновой механики для развития квантовой теории в целом.

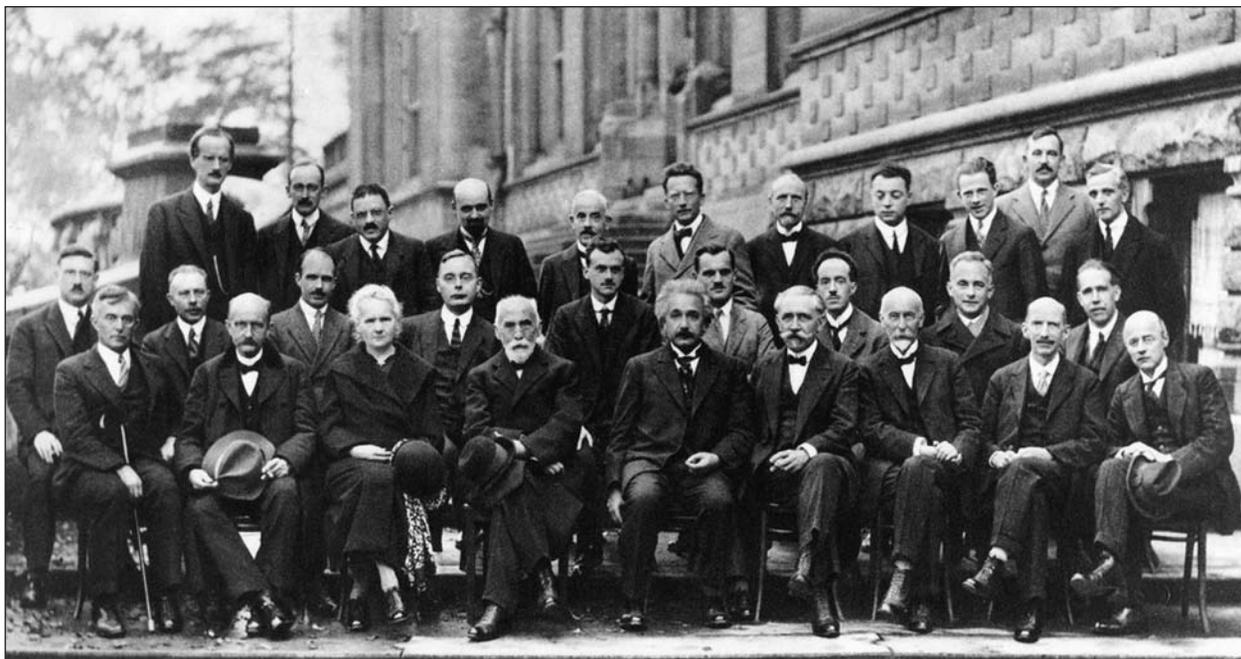
Впрочем, это случится позднее — как результат осмысления неясностей, порожденных волновой теорией, и как глубокий стимул к более тщательному анализу накопленного к тому времени теоретического и опытного материала. А пока вокруг интерпретации волновой теории развернулась нешуточная дискуссия. О серьезной бескомпромисности противостояний сторонников двух механик свидетельствует их переписка.

Так, Гейзенберг напишет Паули: «Чем больше я размышляю о физической части теории Шрёдингера, тем ужаснее она мне кажется. Ведь (он) просто выбрасывает за борт все квантово-теоретическое, т.е. фотоэлектрический эффект, ионизационные толчки Франка, опыты Штерна—Герлаха и т.д. После этого нетрудно построить теорию, однако она-то и не согласуется с опытом» [9. С.57].

От гёттингенцев Йордан добавит: «Для нас не представляет сомнения, что новые понятия Шрёдингера, подобно законам матричной теории, должны получить физическое истолкование в тесной связи с прежними представлениями о стационарных состояниях и квантовых скачках и идеями Гейзенберга; закономерности Шрёдингера должны быть истолкованы статистически» [10. С.322].

В своем мнении Йордан опирался на статью Борна 1926 г., в которой тот обосновал статистическое толкование волновой функции, показав, что интенсивность волн следует понимать как меру вероятности нахождения электрона в соответствующем месте. По замечанию Борна, без этого понимания «достижение Шрёдингера сокращается до чего-то чисто математического; его физика имеет довольно жалкий вид» [7. С.57].

Итогом борновской интерпретации  $\psi$ -функции явилось понимание, что эта комплексная функция описывает состояния квантово-механической системы. Смысл имеет квадрат ее модуля, представляющий собой вероятность (или плотность вероятности) того, что величины, с помощью которых задано состояние электрона, принимают определенные значения (или находятся



Э.Шрёдингер (стоит шестой слева) среди участников пятого Сольвеевского конгресса (1927), на котором развернулась знаменитая дискуссия о детерминизме в квантовой теории между Эйнштейном и Бором.

в определенных интервалах значений). Введение вероятностной трактовки  $\psi$ -функции означало отказ от причинности в ее классическом понимании. Для Шрёдингера оно было неприемлемо. В ходе спора с Бором осенью 1926 г. ученый воскликнул: «Но если нельзя обойтись без этого проклятого квантового прыганья, то я сожалею, что вообще занялся квантовой теорией!». На это Бор ему ответил: «Но все остальные чрезвычайно благодарны Вам именно за это: Вы так много сделали для прояснения квантовой теории» [11. С.314].

Тогда же Дирак достиг строгой формулировки квантовой теории, а Дж.фон Нейман изложил ее на языке гильбертова пространства, элементы которого — те же волновые функции. Из его теоремы о скрытых параметрах следовало, что вероятностный характер выводов квантовой механики — не итог неполного знания, но фундаментальный закон: выводы остаются вероятностными и при полном знании состояния системы.

В 1938 г. Бор так оценит пользу создания квантово-механических методов: им «мы обязаны счастливым введением новых интуитивных идей о световом кванте и волнах материи Эйнштейном, де Бройлем и Шрёдингером, с одной стороны, и поступательным развитием метода соответствия от работ Крамерса до его блестящего осуществления Гейзенбергом, Борном, Иорданом и Дираком, с другой» [8. С.260].

Таким образом, квантовая революция 1925—1927 гг. закончилась успешно. Итог ее выдающимся достижениям, позволившим глубже понять квантовую реальность, подвел V Сольвеевский ко-

гресс. Его участники — Планк, Эйнштейн, Бор, де Бройль, Шрёдингер, Борн, Дирак, Гейзенберг, Паули и др. — согласились в целом с копенгагенской интерпретацией. В целом, но не во всем и далеко не все, в том числе и наш герой.

Позднее, в своей вступительной речи в Прусскую академию наук в 1929 г., Шрёдингер вернется к вопросу о вероятностной трактовке квантовых явлений: «Но я не верю, что в такой форме на него можно будет когда-либо ответить... Тут дело не о суждении относительно действительного свойства природы... а о целесообразности и удобстве образа мышления, с которым мы подходим к явлениям природы» [1. С.340].

Пройдут годы, сойдет на нет накал страстей, когда в неудержимом стремлении понять тайны атомной реальности сталкивались физики разных поколений и взглядов. Но Шрёдингер, как один из них, будет продолжать хранить верность классическому детерминизму и вслед за Эйнштейном отыскивать примеры, «свергающие», по его мнению, с пьедестала победы саму концепцию вероятностного описания атомных процессов.

В 1935 г. в защиту ЭПР-парадокса\* Шрёдингер предложит свой — пример с кошкой, находящейся-

\* Парадокс Эйнштейна, Б.Подольского и Н.Розена — попытка указания на неполноту квантовой механики с помощью мысленного эксперимента, заключающегося в измерении параметров микрообъекта косвенным образом, не оказывая на этот объект непосредственного воздействия с целью извлечь больше информации о состоянии микрообъекта, чем дает квантово-механическое описание его состояния.

ся в сейфе со счетчиком Гейгера, с радиоактивным веществом и колбой синильной кислоты. Его вывод: «Первый же распад привел бы к отравлению кошки.  $\Psi$ -функция всей системы выразила бы это тем, что живая и мертвая кошка смешаны или размазаны в одинаковых пропорциях» [12. С.78–79].

В статье 1952 г. «Существуют ли квантовые скачки?» Шрёдингер продолжает настаивать на своем понимании квантовой реальности. Борн опасался, что взгляды Шрёдингера при присущих ему литературном таланте, широте философского горизонта, а также искусной аргументации могут «вызвать беспорядок в умах тех, кто, не будучи физиками, интересуется общими физическими идеями» [12. С.368].

И тем не менее сторонники борновской интерпретации в лице Паули подчеркивают: «Вопреки всем реакционным усилиям (Шрёдингер, Бом и др.), я уверен, что статистический характер  $\Psi$ -функции... будет определять стиль законов в течение по крайней мере несколько столетий... мечтать о возвращении к прошлому кажется мне безнадежным, неправильным, признаком плохого вкуса» [12. С.381–382].

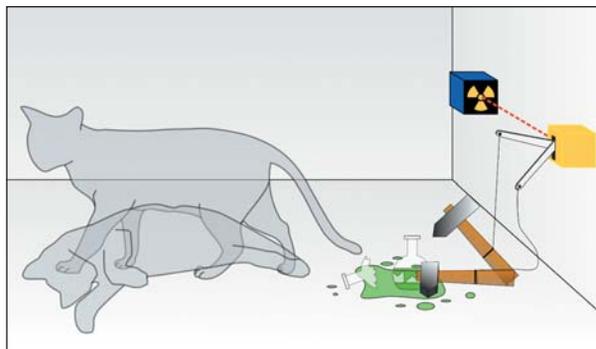
Во второй половине XX в. в среде физиков возникло движение к более реалистическим, по своей сути классическим, интерпретациям квантовой механики, в то время как копенгагенская интерпретация уже перестала считаться доминирующей. Физический смысл понятия самой волновой функции физиками-«квантовиками» трактовался все еще по-разному, и ее полного понимания пока не было.

Итак, выдающийся по своим результатам и напряжению интеллекта и одновременно трагичный этап в творчестве Шрёдингера, ставший его звездным часом, подарил физике волновую механику, содержащую волновое уравнение и его  $\Psi$ -функцию, а через них и сопутствующий им ряд важных открытий и методологических принципов.

Причем, если уравнение Шрёдингера оказалось весьма удобным и эффективным инструментом решения задач физики и химии, то  $\Psi$ -функция вскоре привела к вероятностной концепции в науке и (вместе с принципами соответствия, неопределенности и дополненности) — к важному методологическому осмыслению квантовой механики в целом.

## Судьба волнового уравнения

С этого момента открытием Шрёдингера восхищаются, работы цитируют: и кто поддерживал его идеи, и кто был не совсем согласен с ними. С ним считали своим долгом обсудить квантовые проблемы ученые разных стран, его приглашали с докладами о своем детище в Гёттинген и Мюнхен, Берлин и Копенгаген, на Сольвеевские конгрессы.



По сей день идут споры о том, живым или мертвым будет кот Шрёдингера в ходе предложенного им мысленного опыта? Мог ли сам ученый предполагать, что его кот приобретет широкую популярность не только в квантовой теории, но и за ее пределами? Проблемы науки породили и соответствующие проблемы нравственности (Dhatfield, [http://ru.m.wikipedia.org/wiki/Schrodingers\\_cat.svg](http://ru.m.wikipedia.org/wiki/Schrodingers_cat.svg)).

В СССР волновая механика пришла в год ее рождения. Работы В.А.Фока, Г.А.Гамова, Д.Д.Иваненко и Л.Д.Ландау были посвящены разработке ее отдельных моментов. В 1927 г. в «УФН» опубликована «Волновая теория механики атомов и молекул», но лишь в 1977 г. — «Квантование как задача о собственных значениях». В 1928 г. Шрёдингер был избран членом-корреспондентом, а в 1934 г. — иностранным членом АН СССР.

Восприятию волновой механики в наше стране способствовали наличие научных школ А.Ф.Иоффе и Д.С.Рожественского и математических традиций мирового класса, связи с европейскими центрами квантовой физики и терпимое отношение философов к теории. Однако успехи советских ученых в этой области не стали существенными, ибо главное в создании основ квантовой механики уже было сделано [13. С.462].

И хотя многие считали, что все это вещи мудреные, уже в 1930-е годы общий интерес к теории Шрёдингера и квантовой механике в целом заметно вырос в ходе чтения первых лекций по волновой механике, с появлением работы Шрёдингера и учебных пособий Я.И.Френкеля, П.С.Тартаковского и А.Зоммерфельда, популярных изданий того же Френкеля, О.Д.Хвольсона и М.П.Бронштейна.

При этом одни считали, что «теория Шрёдингера — это уравнение Шрёдингера»; другие превозносили ее волновые представления, а третьи соглашались с тем, что его работы «стоят в центре всей современной физики» [1]. Спустя десятилетия после смерти ученого у нас будут изданы его «Новые пути в физике» (1971), к 50-летию его открытия — «Избранные труды по квантовой механике» (1976) и др.

За выдающиеся успехи в науке и умение «ясно и доходчиво читать лекции» Шрёдингер в 1927 г. избирается преемником Планка в Берлинском

университете, а в 1929 г. избирается в Берлинскую академию наук. С этого момента он включен в элиту тех ведущих европейских ученых, чьи открытия привели к созданию основ квантовой физики.

Однако особой активности в жизни университета ученый не проявлял. Он продолжал заниматься наукой и защитой своих позиций в квантовой теории, участвовал в коллоквиумах, вел семинары и читал лекции. За время пребывания в Берлине Шрёдингер прочел их по большинству разделов классической и современной физики.

Эйнштейн предлагал присудить Нобелевскую премию де Бройлю, Гейзенбергу (дважды), Шрёдингеру (трижды), Борну, при этом подчеркивая: «Если бы решение зависело от меня, то я бы дал первым премию Шрёдингеру», а позднее пояснил: «Я считаю, что наше понимание квантовых явлений расширилось в основном благодаря его работам» [14. С.487].

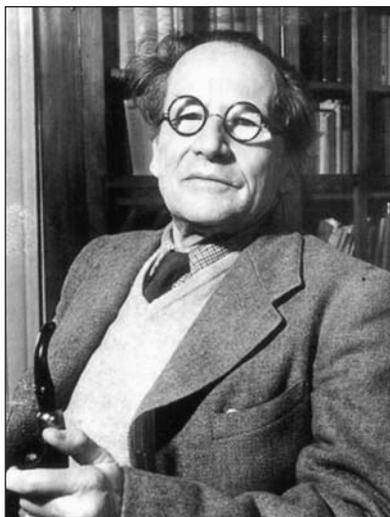
В роковом для Германии 1933 году 46-летний ученый добровольно прерывает свое пребывание в Берлине. По воспоминанию Борна, ученый «не должен был отказаться от должности и покинуть Германию. Но он сделал и то и другое, и мы восхищались им. Ибо вовсе не легко человеку среднего возраста эмигрировать и жить на чужбине» [12. С.385].

С октября он — исследователь-стипендиат колледжа св. Магдалины в Оксфорде, вплоть до отъезда в Грац. У него устанавливаются близкие отношения с Борном, с их «дуализмом» согласия и расхождения в жизни и науке. В том же 1933 году ему с Дираком присуждается Нобелевская премия по физике «за открытие новых продуктивных форм атомной теории».

С упрочением в научном сообществе позиций волновой механики начинает формироваться ее учебный курс. Но по причине неясного понимания элементов теории подчас возникала произвольность в логике ее изложения. Несмотря на эти и иные трудности, уравнение Шрёдингера уже «путешествует» во времени и пространстве теоретической мысли.

### Личность ученого в свете его «квантовых» сомнений и разочарований

В общении с людьми знаменитый ученый представлялся человеком немногословным и замкнутым. Таким же, по словам В.Гайтлера, он был в препода-



Э.Шрёдингер, уже переживший величайший успех в науке, за которым последовали годы научной и личной трагедии и одиночества.

вании и научном творчестве: «едва ли можно найти публикацию, где у Шрёдингера был бы соавтор. Все его статьи несут на себе глубокий отпечаток индивидуальности» [12. С.397].

Зато в чтении лекций Шрёдингер находил немалое удовлетворение: при подготовке к ним могли рождаться новые мысли, а подчас и идеи, из которых однажды возникла его волновая механика. Но и лекции при богатстве их содержания не приводили его к особому сближению с молодежью, и тем более — к созданию собственной научной школы.

В ходе своей повседневной творческой деятельности, Шрёдингер, во-первых, тщательно отбирал для себя темы исследований, чаще отвечавшие традициям воспитавшей его Венской школы, классической науки в це-

лом. При этом ученый немалое значение придавал выбору математического аппарата и изяществу его применения при решении научной проблемы.

Во-вторых, идеалом объяснения той или иной научной проблемы Шрёдингер считал тот, для которого было достаточно средств из арсенала классики. В своих работах ученый охотно прибегает к классике, и лишь затем сдержанно и там, «где это можно сделать без насилия над разумом» [1] — к фактам и положениям новой, квантовой, физики.

И, в-третьих, ученый оставался человеком культуры. Скорее всего, поэтому решение всякой физической проблемы имело для него «ценность лишь как этап в постижении человеком всеобъемлющих взаимосвязей, и потому он стремился сделать свои идеи достоянием самого широкого круга людей, а не только коллег-физиков» [2. С.11].

Создав волновую механику, Шрёдингер попытался приспособить ее к прежней физике. Его поведение было поведением зрелого человека, чаще оглядывавшегося назад, чем стремящегося вперед, — ведь он уже вступил в ту пору своей жизни, «когда юношеский пыл действия сменяется спокойной мудростью знания, а ликование первооткрывателя смягчается пониманием относительной ценности всего сущего» [15. С.86].

В ситуации, когда потребовалось понять физический смысл волновой функции, интуиция Шрёдингера-теоретика уже не смогла согласиться с неожиданно новой стороной квантовых явлений. Осознавая печальный для себя факт невозможности в очередной раз радикально изменить свое мышление, он продолжал упорно, а подчас и агрессивно (возможно, от отчаяния?) отстаивать свои представления.

Крушение привычной для этого ученого идеологии обернулось психологическим одиночеством и трагедией в целом. Это было заметно уже по отсутствию интереса к его докладу о массе покоя у фотона (Пиза, 1955 г.). По воспоминаниям М.А.Маркова, объяснялось это тем, «что, мол, раньше выступления Шрёдингера касались злободневных вопросов физики, а теперь на старости лет занялся какой-то патологией» [16. С.19].

Вопреки своим разочарованиям, ученый, отчетливо осознававший возможности квантовой механики как метода познания, будет развивать и применять его в иных разделах науки, осмысливать его методологию. По существу, все последующие его работы будут нести на себе отпечаток великих квантовых идей.

В 1936 г. Шрёдингер возвращается на родину, но спустя два года по тем же политическим мотивам вновь уезжает за границу. Италия, Швеция, Англия, Бельгия и, наконец, Ирландия: в ее столице знаменитый ученый проведет 17 лет своей творческой деятельности, назвав их позднее как «очень, очень хорошее время» [2. С.77].

Здесь в Институте высших исследований он занимается наукой, общается с коллегами на проводимых им «летних школах» для обсуждения актуальных проблем физики (в них участвовали Дирак, Борн, Паули, Л.Инфельд и другие ведущие физики). При этом он смог избежать моральной ответственности за создание атомного оружия.

Атмосфера фашизма и вызванные им скитания Шрёдингера оказали на его последующее творчество необратимые последствия. После взлета на олимп научной мысли новые работы уже не отличались успехами, достойными его гения. И, хотя он по-прежнему много работал, таких результатов, как раньше, уже не получал.

Впрочем, внешне все выглядело вполне благопристойно. Ученый занимается элементарными частицами, космическими лучами, общей теорией относительности, единой геометризованной теорией поля и т.д. Но это были уже иные будни гения: неторопливые и далеко не такие блестящие по своим итогам, как в великую квантовую эпоху.

Если нынешние ученые под занавес своей научной деятельности уходят в политику или бизнес, то их предшественники в этом смысле были «целомудреннее». Они обращались к истории и философии науки, к популяризации научного



Бюст Э.Шрёдингера работы скульптора Фердинанта Вельца, установлен в 1984 г. во дворе аркады главного здания Венского университета.

знания. Так поступали Планк и Эйнштейн, Бор и Гейзенберг и многие другие. К ним относились и Шрёдингер.

Ученый отмечает, что, если и есть основания «для того чтобы свести в единое целое все до сих пор известное», для одного ума это «становится почти невозможным» [17. С.11]. При этом он подчеркивает, что «научные открытия бессмысленны вне своего культурного контекста», да и сама «наука непохожа на гамлетовский монолог», поскольку «представляет ценность только в рамках своего культурного окружения» [1. С.276].

Шрёдингер пытается осмыслить термодинамические основы жизни и соответствие биологических явлений квантовым законам. В 1943 г. он читает лекции по проблеме жизни, составившие его книгу «Что такое жизнь?», изданную в 1944 г. В ней ученый развил идеи М.Дельбрюка, К.Циммера и Н.В.Тимофеева-Ресовского о связи генетики

и квантовой механики, в итоге оказав влияние на последующее развитие биологии.

В 1956 г. 69-летний ученый возвращается на родину и поселяется в альпийской деревне Альпбах. В Физическом институте он возглавляет кафедру теоретической физики, читает лекции в Венском университете (позднее около него появится его бюст). В 1960 г., оставив свои дела по болезни, Шрёдингер готовит к изданию последнюю книгу «Мой взгляд на мир» — своего рода философское завещание ученого.

Книга посвящена таким вечным вопросам бытия, как человек и мир, наука и метафизика, бытие и мышление, сознание и понимание, язык и взаимопонимание. Предисловие он закончит словами: «Этой книжечкой я осуществляю свое давнее намерение, откладывавшееся в течение долгого времени, — вернуться к философии» [3. С.7].

### Заключение: уроки Шрёдингера для молодых ученых и не только...

Подводя итог научным достижениям Эрвина Шрёдингера и рассматривая его волновую механику как один из очередных и успешных этапов в разгадке тайн микромира, особо подчеркнем влияние его личности на разгадку и осмысление механизма формирования ученого-физика в целом.

Создав один из весьма эффективных вариантов математического формализма квантовой ме-



Банкнота в 1000 шиллингов с портретом Э.Шрёдингера и символом  $\psi$ -функции, выпущена в Австрии в январе 1983 г.

ханики, Шрёдингер, однако, в предложенной им интерпретации волновой функции (и не только ее) продолжал настойчиво придерживаться образа и стиля мышления классической физики.

Сдувая пыль с ушедших в небытие ошибок гениев, ученые будут не раз обращаться к ним (особенно если они возникали в эпохи прорыва науки к новому мышлению), задаваясь при этом вопросом: были ли это рядовые ошибки или же, напротив, гениальные прозрения в освоении мира, ко-

торые наука на тот момент была не в состоянии оценить адекватно?

Своим несогласием в науке Шрёдингер стимулировал дальнейшее осмысление методологических проблем квантовой механики. Парадоксы Шрёдингера, неравенства Белла и опыты Аспекта, квантовые измерения и корреляции, концепция Эверетта и тайны сознания и сегодня занимают внимание «квантистов» мира, пытающихся понять законы микромира.

Но бег времени неумолим и для тех, кто так и не принял до конца квантовую механику. Один за другим уходили они из жизни: в 1947 г. ее покинул Планк, в 1955 г. — Эйнштейн, в 1960 г. — фон Лауэ. Затем придет черед и Шрёдингера. Переживет его на четверть века лишь де Бройль, чьи идеи вдохновили в свое время Шрёдингера на его открытие.

Выдающийся по любым, самым высоким, критериям физик умер на 74-м году своей жизни — 4 января 1961 г. После него осталось волновое уравнение Шрёдингера — основа описания процессов в атоме, — ставшее, по словам Дирака, «одним из наиболее изумительных успехов, достигнутых в развитии научных знаний» [12. С.387]. ■

## Литература

1. Шрёдингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М., 1976.
2. Хоффман Д. Эрвин Шрёдингер. М., 1987.
3. Шрёдингер Э. Мой взгляд на мир. М., 2009.
4. Дирак П.А.М. Воспоминания о необычайной эпохе. М., 1990.
5. Планк М. Избранные труды. М., 1975.
6. Борн М. Размышления и воспоминания физика. М., 1977.
7. Пайс А. Гении науки. М., 2002.
8. Бор Н. Избранные научные труды: В 2 т. Т. II. М., 1971.
9. Теоретическая физика XX века. М., 1962.
10. Иордан П. Причинность и статистика в современной физике // Успехи физических наук. 1927. Т.7. №5. С.318—328.
11. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики. М., 1985.
12. Шрёдингер Э. Новые пути в физике: Статьи и речи. М., 1971.
13. Визгин В.П. Восприятие волновой механики Шрёдингера в СССР // Эйнштейновский сборник. 1986—1990. М., 1990. С.446—476.
14. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М., 1989.
15. Пономарев Л.И. Под знаком кванта. М., 1989.
16. Марков М.А. Размышляя о физиках... о физике... о мире... М., 1993.
17. Шрёдингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? М., 1947.

# Ради новых знаний

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ

Привыкнув к тому, как легко историки, геологи, археологи и астрономы оперируют датами далекого прошлого, мы редко задаем себе вопрос: «А как они это делают? Как узнают даты событий, происходивших тысячи, миллионы и миллиарды (!) лет назад?» Сегодня учеными разработаны сотни методов датирования событий. Подробно узнать о них можно из толстых справочных монографий, например из книги Г.А.Вагнера «Научные методы датирования в геологии, археологии и истории» (М., 2006). Но много ли найдется желающих читать такие обстоятельные книги от корки до корки, и много ли поймут в них читатели, не имеющие знаний в этой области? А ведь именно сейчас таких читателей все больше, хотя бы потому, что многим из нас хочется разобраться в утверждениях священнослужителей и креационистов, проникших даже в среднюю школу, причем не только у нас, но и во всем мире. Поэтому напрашивается мысль: нужна «Занимательная хронология» или нечто подобное, способное увлечь читателя и ненавязчиво объяснить основные методы датирования исторических событий. Вот за это дело и взялся британский геолог, специалист по хронологии, профессор Крис Тёрни (Chris Turney). В квалификации автора книги можно не сомневаться. Именно он в 2004 г. проводил радиоуглеродный анализ обнаруженных в Индонезии останков так называемого «хоббита», возможно, являющегося пред-

ставителем нового подвида гомо. Его книга «Bones, rocks and stars: the science of when things happened», впервые опубликованная в 2006 г., уже была переведена на несколько европейских и китайский языки, а теперь вышла и на русском. Перевод сделан со второго английского издания 2008 г.

Причину, заставившую автора взяться за перо, он объясняет так: «Сколько я занимаюсь наукой, столько меня завораживает прошлое, и я стараюсь помочь остальным ощутить его значимость, однако похоже на то, что пропасть между потреблением благ науки и пониманием ее законов неуклонно ширится. Цифры так и сыплются, но не всегда понятно, откуда они берутся. Это относится практически к любой из бесчисленных областей знания. Науку считают слишком сложной, слишком занудной». С этим трудно не согласиться. Каждый из научных работников ощущает отрыв масс от науки, который время от времени организационно оформляется в виде ЕГЭ, церковных привилегий, вымывания научно-популярных передач с телеэкранов и т.п. Легко констатировать этот факт, но трудно создать произведение, которое бы приковало к себе читателя, не опуская при этом научный уровень рассказа. Крис Тёрни это удалось.

Все 12 глав книги, включая эпилог, посвящены одному из методов датирования, но при этом каждая глава — маленький детектив. Она начинается с занимательной истории, с научной загадки. Существовал ли в Англии легендарный король



**К.Тёрни.** КОСТИ, СКАЛЫ И ЗВЕЗДЫ: НАУКА О ТОМ, КОГДА ЧТО ПРОИЗОШЛО. Пер. с англ. М. Десятовой.

М.: Альпина нон-фикшн. 2011. 235 с.

© Сурдин В.Г., 2012

Артур, собравший рыцарей за Круглым столом? Кто и когда воздвиг египетские пирамиды? Сколько лет Туринской плащанице? Кто или что уничтожило мамонтов и других гигантских зверей и птиц в конце ледникового периода? Какими путями и когда первые люди проникли на Американский континент? Рассказывая о том, как специалисты ищут разгадки этих тайн, автор знакомит читателя с очередным методом датирования. Одна глава — один метод. Здесь и сопоставление письменных источников, и радиоуглеродное датирование, и дендрохронология (исследование годовых колец деревьев), и астрономические методы, и анализ ДНК останков животных, и классификация пыльцы растений, и сравнение «ледяных летописей» в кернах, взятых из ледников Гренландии и Антарктиды. При этом автор отталкивается не от конкретного метода хронологии, а от исторической проблемы, которую необходимо решить. И каждый раз оказывается, что распутать исторический узел удастся только при комплексном использовании нескольких методов датирования, дополняющих друг друга. Более того, если исследование заходит в тупик, то появляется (изобретается!) новый метод датирования.

Какую бы проблему ни рассматривал автор — великие пирамиды, ледниковые периоды или гигантские вулканические извержения, рассказ, так или иначе, касается эволюции человека. От главы к главе мы приближаемся к самой жгучей загадке — происхождению человека разумного. В этой области что ни год то открытие, и методы хронологии тут важнейший инструмент. О наших ближайших разумных родственниках автор пишет с особым подъемом, поскольку это тема его собственных исследований. Еще недавно считалось, что современный человек (*Homo sapiens*) сосуществовал некоторое время лишь с неандертальцем, которо-

го затем безжалостно истребил. А теперь оказывается, что длительное время это сосуществование было мирным и, возможно, даже любовным, а неандерталец сам сошел со сцены, потому что умом не вышел. Более того, 300 веков назад кроме *H.sapiens* и *H.neanderthalensis* на нашей планете было еще две разумных ветви человека. Во-первых, это *H.erectus* — человек прямоходящий, появившийся еще 2 млн лет назад и первым научившийся использовать огонь. А во-вторых — это *H.floresiensis*, человек флоресский, тот самый «хоббит», найденный на о.Флорес в Индонезии. Судя по сохранившимся о нем устным преданиям, этот древний вид должен был просуществовать на Флоресе достаточно долго и исчезнуть лишь несколько столетий назад — тогда же, когда были уничтожены последние гигантские ленивцы и крупные нелетающие птицы.

«Только подумать, — восхищается Крис Тёрни, — что каких-нибудь 30 тыс. лет назад на нашей планете параллельно обитало как минимум четыре вида человеческих существ! А теперь мы считаем себя единственными. Что же будет, если вдруг обнаружится живой представитель какого-нибудь из вымерших видов? Как мы поступим? Пожмем ему руку, запрем в клетку или притворимся, что его не существует?» В этой фразе следует отметить дальновидную оговорку — «как минимум». В последнее время сибирские палеоантропологи все настойчивее заявляют об открытии нового родственника — *Homo sapiens altaiensis* (человека разумного алтайского), обнаруженного в Денисовой пещере. Он тоже обитал на Земле 30 тыс. лет назад.

Впрочем, сегодня «клуб разумных животных» почти пуст. Его хозяин — человек, «И остался он один» (именно так называется глава, посвященная нашим родственникам). За короткое послеледниковое время уничтожены все разумные соперники

и почти все крупные животные. Что дальше?

А дальше человек должен доказать, что он действительно разумный. Это наш единственный шанс. Использовать его мы сможем только в том случае, если наука восстановит истинную картину прошлого и в общественном сознании эта картина сможет заменить собой наивные религиозные мифы. Проблема в том, что сказка всегда проста и неизменна, а научная картина постоянно развивается и требует для своего восприятия умственных усилий.

Возможно, некоторые читатели окажутся разочарованы тем, что ни одну из затронутых в книге проблем ее автор не считает окончательно решенной. Но для людей науки это как раз и служит признаком высокого профессионализма автора. Только журналисты могут позволить себе безапелляционные утверждения типа «Ученые нашли... Ученые доказали... Ученые опровергли...». Истинный ученый остерегается категорических выводов, он лишь описывает явления и приводит аргументы как за, так и против своей точки зрения. Именно так поступает автор, особенно при описании тех изысканий, в которых сам принимал участие. Его богатый опыт позволил насытить книгу множеством интересных и даже поучительных историй. Вот одна из них, из области дендрохронологии:

«Брать образцы ствола для датировки — дело непростое, и серьезная ошибка может стоить человеку карьеры. Известен случай, когда молодой ученый (пусть его имя останется неизвестным) брал в 1964 г. пробы на делянке живых остистых сосен, и его бур застрял в стволе дерева, давно, судя по всему, остановившегося в росте. Молодой человек обратился к лесничему, и тот предложил повалить для него это дерево, чтобы можно было вытащить инструмент. На срубленном стволе бедолага насчитал 4950 годичных колец,

Это дерево росло, когда строилась Великая пирамида Хеопса в Гизе. Ради спасения инструмента стоимостью в свой дневной заработок юноша загубил самый старый из живых организмов планеты. Больше он дендрохронологом не работал».

Только в эпилоге, имеющем подзаголовок «Время креационизма прошло», автор открыто полемизирует с защитниками библейской истории природы. Он серьезно предупреждает: «В креационизме все строится на вере. Сколько бы наука ни доказывала обратное, некоторые все равно продолжают верить, что миру всего 6 тыс. лет от роду. Человек волен верить во что угодно: что Земля плоская или что на Марсе живут маленькие зеленые человечки, — но в праве ли он требовать, чтобы эти представления поместили в учебник между электростатикой и теорией тяготения? Надеюсь, что нет...»

Наш мир на пороге серьезных испытаний, с которыми не-

обходимо в срочном порядке разобратся. Массовое исчезновение флоры и фауны, а также глобальные изменения климата — это лишь два примера, требующие кардинальных мер и общего объединения усилий. Но если нашему миру всего 6 тыс. лет, большинства катастрофических событий, о которых мы будем говорить в последующих главах, просто не могло произойти. Наше общество построено на демократии, но в отношении времени не обходится без политики. Если правительство в вопросах образования пойдет на поводу у религии, мы лишим себя возможности извлекать уроки из событий прошлого и с уверенностью смотреть в будущее. Время дает нам ориентиры, помогающие достойно встретить грядущие трудности и справиться с ними, сгладить, а может быть, даже предотвратить».

Для археологии и геологии сейчас самое благодатное время, считает Крис Тёрни. Новые тех-

нологии предоставляют все больше способов заглянуть в прошлое. Описанные в этой книге разные способы датирования уже помогли разрешить самые интригующие загадки истории и еще принесут пользу нам, нашему виду и нашей планете.

В заключение отмечу, что издана книга прилично, хотя и не без недостатков: перевод в литературном смысле вполне хорош, но некоторые специальные термины неточны, и в работе с текстом заметна небрежность. Научные редакторы книги — биологи — не сочли необходимым проконсультироваться у астрономов, поэтому в космических разделах текст «плывет». Хотелось бы видеть книги, изданные при поддержке фонда «Династия» безупречными, но пока этого нет. Тем не менее я горячо рекомендую всем любителям науки прочитать книгу Криса Тёрни, чтобы почерпнуть новые знания и получить удовольствие. ■

## Орнитология

**Н.С.Чернецов.** МИГРАЦИЯ ВОРОБЬИНЫХ ПТИЦ: ОСТАНОВКИ И ПОЛЕТ. М.: Изд-во КМК, 2011. 173 с.

Дальность миграций некоторых видов воробьиных птиц поражает воображение не меньше, чем знаменитые перемещения аляскинских популяций полярных крачек, которые зимуют у берегов Антарктики. Среди воробьиных рекордсменами, по видимому, можно считать обыкновенную каменку (гнездится в северо-восточной Азии и на Аляске, а зимует в Восточной Африке) и пеночку-весничку.

У птиц, которые мигрируют в основном днем, разделить

полет и остановки часто бывает трудно (это особенно характерно для таких видов, как синицы). У ночных мигрантов провести границу значительно проще. Как правило, они совершают дальние (на десятки и сотни километров) перелеты в темное время суток.

Миграционные остановки и полет неразрывно связаны друг с другом. Продолжительность остановок, скорость жиронакопления и общая энергетическая эффективность определяют возможную дальность последующего полета.

Автор показывает, что энергетические расходы на полет у адаптированных к миграции видов птиц существенно ниже, чем было принято считать до

сих пор. Он критикует теорию оптимальной миграции, приводит качественную модель поведения мигрирующих воробьиных.

Это первая монография, которая восполняет пробел и обобщает результаты в науке о миграциях. Большая часть многолетних полевых исследований проведена на базе биологической станции «Рыбачий» Зоологического института РАН на Куршской косе Балтийского моря. Часть материала была собрана на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН (Казахстан). В анализ были также включены данные, полученные в Международном центре изучения птиц в Эйлате (Израиль).

# Незабытое имя в российской герпетологии

К 125-летию со дня рождения С.Ф.Царевского

Н.Б.Ананьева,

доктор биологических наук

И.В.Доронин

Зоологический институт РАН  
Санкт-Петербург

В этом году Зоологическому институту (ЗИНу), старейшему отечественному научно-исследовательскому учреждению Российской академии наук, исполняется 180 лет. В его стенах трудилось немало замечательных ученых, стоящих у истоков любимого для нас дела. О некоторых из них упомянуто в статье «Они жили на острове ЗИН», завершающей подборку к 170-летию нашего института\*. Продолжим этот рассказ и вспомним еще одного «островитянина» — Сергея Федоровича Царевского (1887—1971), первого заведующего отделом герпетологии ЗИНа (тогда еще Зоологического музея).

До настоящего времени биография Сергея Федоровича оставалась практически неизвестной, чего не скажешь о его научной деятельности. Работы Царевского сразу после их публикации вызывали оживленный интерес специалистов-герпетологов. Главным рецензентом был известный зоолог А.Ф.Ляйстер (1884—1941), разместивший в «Известиях Кавказского музея» серию обзоров статей Царевского. С недавних пор его лич-

ность стала привлекать внимание и современных исследователей: К.Адлер — редактор многотомного издания по истории герпетологии — написал одному из авторов этих строк (Н.Б.Ананьевой) о необходимости изучения биографии Царевского как «незаслуженно забытого зоолога» и поместил в третьем томе краткий обзор, посвященный его жизни и научной деятельности [1].

Известно, что многие российские зоологи были глубоко верующими людьми, но пример Сергея Федоровича нам представляется уникальным. Его жизненный путь можно разделить на две линии — светскую (как ученого-герпетолога) и духовную (как служителя Русской православной церкви). По сути, жизнь Царевского соответствует философским строкам из знаменитой арии в опере Чайковского «Иоланта»:

*Два мира — плотский и духовный —  
Во всех явлениях бытия  
Нами разлучены условно,  
Они едины, знаю я.*

## Семья и учеба в университете

Родился Сергей Федорович 7 марта (23 февраля по старому стилю) 1887 г. в Минске, в семье статского советника, педагога Федора Львовича Царевского

(1858—1912), который в свою очередь появился на свет в семье диакона Тамбовской губернии. Выпускник Киевской духовной академии 1882 г., в том же году был назначен преподавателем латинского языка в Минскую духовную семинарию. С ноября 1893 г. стал инспектором классов Минского женского духовного училища. Имел орден Святого Станислава 2 и 3 степени, Святой Анны 3 степени. Указом Святейшего Синода был перемещен на должность инспектора Псковской духовной семинарии [2].

Сергей по примеру отца и деда обучался в православной духовной семинарии при Спасо-Вифанском монастыре в Сергиевом Посаде (точные годы учебы неизвестны). В настоящее время мы не можем ответить на крайне важный вопрос: что помешало Царевскому продолжить обучение в духовной академии и повлияло на смену жизненных приоритетов? Ведь известно, что в 1915 г. в достаточно зрелом возрасте (28 лет) он окончил естественное отделение (разряд) физико-математического факультета Императорского Санкт-Петербургского университета, став профессиональным зоологом.

Как указано в личном деле, в Санкт-Петербурге Царевский жил по адресу: ул. Ямская, дом 28,

\* Подробнее см.: Alma mater отечественной зоологии. 170 лет Зоологическому институту РАН // Природа. 2002. №8. С.10—48.

квартира 8\*. Интересно, что в 1910-х годах на той же улице в доме 29 жил Л.С.Берг (1876—1950), заведовавший отделом рыб, амфибий и рептилий Зоологического музея. К счастью, дом 28 сохранился до наших дней, получив статус памятника архитектуры. Уцелел и располагающийся по соседству хорошо известный петербуржцам собор Владимирской Иконы Божьей Матери. Несомненно, Сергей Федорович был его прихожанином.

В студенческие годы (1912—1915) бывший семинарист серьезно увлекся герпетологией, чему всячески способствовали его учителя и наставники — К.М.Дерюгин (1878—1938) и П.В.Нестеров, судьба которого изучена еще недостаточно. Нестеров был выпускником физико-математического отделения Санкт-Петербургского университета, магистром, приват-доцентом по зоологии, действительным членом Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей, Русского географического общества, Общества акклиматизации животных и растений. С 1910 г. он преподавал в Царскосельской реальной гимназии, а позднее — в Псковском учительском институте. С 1918 г. заведовал культурно-просветительским отделом Псковской городской управы, преподавал в Вайвараской русской эмигрантской школе. Участвовал в научных экспедициях в Холмском и Минусинском уездах, в Монголии, путешествовал по Карскому и Белому морям, исследовал юго-западное Закавказье, по поручению Академии наук и Русского географического общества был в Германии, Швейцарии, Персии, Турции, Месопотамии, Курдистане. Есть сведения, что он был арестован НКВД и расстрелян в Тартуской тюрьме в начале 1940-х годов [3].

\* Санкт-Петербургский филиал Архива РАН. Ф.4. Оп.4. Д.1186. Л.1. В 1915 г. Ямская улица (в районе Лиговского пр., где существовала слобода ямщиков) была переименована в честь Ф.М.Достоевского, который жил в доме 2.



Дом на улице Достоевского (бывшая Ямская) в Санкт-Петербурге, где в 1910-х годах жил С.Ф.Царевский.

Царевский учился в Санкт-Петербургском университете, когда на физико-математическом факультете работала плеяда талантливых биологов. Курс биологии моря читал уже упомянутый К.М.Дерюгин, паразитологии и энтомологии — А.К.Мордвило (1867—1938), энтомологии и зоогеографии — М.Н.Римский-Корсаков (1873—1951), зоологии беспозвоночных — В.А.Догель (1882—1955), генетики — Ю.А.Филипченко (1882—1930) [4].

Летом 1911 г. и 1914 г. Царевский во время поездки на Кавказ собрал значительную коллекцию и сведения по биологии амфибий и рептилий. Сборы он передал в Музей при Зоологическом кабинете Императорского Санкт-Петербургского университета. В то время Сергей Федорович планомерно проводил разбор, каталогизацию и исследование герпетоло-

гической коллекции университета. Он обработал более 1.4 тыс. единиц хранения по 164 формам рептилий, обратив внимание на некоторые проявления изменчивости пластических систематических признаков у исследованных форм. Главным итогом стал «Каталог коллекции пресмыкающихся», опубликованный в 1914 г. в «Трудах Императорского Петроградского общества естествоиспытателей». Каталог содержит ценные заметки по систематике ряда рептилий (круглоголовки, удавчики и гадюки) и сведения по их биологии (наблюдения за скальными ящерицами на Черноморском побережье Кавказа и новые данные об их распространении). Эта работа вышла под редакцией К.Д.Дерюгина. В настоящее время большая часть герпетологической коллекции университета, включая и сборы Царевского, хранится в ЗИНе.

Полученные при работе с университетской коллекцией данные Царевский использовал в дальнейшем, включая и работы, относящиеся уже к следующему периоду его жизни, связанному с нашим институтом, который до 1931 г. именовался Зоологическим музеем. Его директор академик Н.В.Насонов (1855—1939) в отчете за 1914 г. отметил: «В первом полугодии в отделении (ихтиологии и герпетологии. — *НА и ИД.*) работал по изучению различных форм *Vipera* студ. С.Ф.Царевский» [5. С.58]. Сразу после окончания университета в 1915 г. Сергей Федорович был «приглашен в помощь по заведованию герпетологическим отделением» [6. С.6]. Нужно пояснить, что в данном случае «отделение» означало не самостоятельное структурное подразделение, а лишь часть коллекции отдела ихтиологии и герпетологии, которым в то время заведовал старший зоолог П.Ю.Шмидт (1872—1949). В штатном расписании 1915 г. Сергей Федорович значился помощником заведующего.

### Ученый-герпетолог

Работа Царевского в Зоомузее началась с экспедиции в Бухару и северную Персию. «Собира- тель много уделял внимания би-

ологии гадов; особенно интересен случай поимки 26 июля самки песчаного удава (*Eryx tataricus*) с семью вполне развитыми детенышами внутри. До сего времени способ размножения этих змей был неизвестен» [6. С.17]. В целом им было собрано три экземпляра земноводных, 277 — ящериц и 13 — змей. Кроме того, в фонды отдела были переданы герпетологические сборы уже упомянутой экспедиции по Черноморскому побережью Кавказа: шесть экземпляров амфибий, 30 — ящериц и два — змей, включая кавказских крестовок, арвинских ящериц и кавказских гадюк.

Как хранитель коллекций Царевский стал своего рода заочным лаборантом ведущего российского герпетолога того времени — А.М.Никольского (1858—1942). Дело в том, что в 1903 г. он оставил заведование отделением рыб, земноводных и пресмыкающихся Зоологического музея, переехал в Харьков, где занял место профессора кафедры зоологии Харьковского университета. Однако Никольский не потерял связь с Санкт-Петербургом, регулярно получал коллекции для определения и изучения. Этот материал стал основой для написания фундаментальных сводок по герпетофауне Евразии, опубликованных в серии «Фауна России».

Именно Царевский занялся первичной обработкой и отправкой в Харьков этих многочисленных коллекций.

Новый материал, полученный в ходе собственных полевых работ в совокупности с изучением коллекций Петроградского университета и Зоологического музея, позволил Царевскому опубликовать в 1915—1916 гг. сразу три работы по систематике змей. В частности, в них дано описание новых для науки видов и подвидов (точнее, вариететов) удавчиков и гадюк. Наиболее примечательны из них: тигровая гадюка (*Vipera tigrina*), описанная с Северного Кавказа и рассматриваемая сейчас как цветочная морфа гадюки Динника (*Pelias dinniki*), а также белобрюхий удавчик (*Eryx speciosus*) — узкоареальный эндемик долины р. Вахш в Таджикистане, который считается одной из самых слабоизученных змей не только на территории бывшего СССР, но и всей Евразии.

В 1916 г. Сергей Федорович, будучи временно исполняющим обязанности заведующего отделом, продолжил обрабатывать коллекции ядовитых змей, а также жаб рода *Bufo*. В том же году из Москвы в Петроград прибыл Луи Ланц, которому Царевский всячески помогал в работе с коллекциями ящериц, ящурок и гекконов, консультируя, в частнос-



Восточный удавчик (*Eryx tataricus*) — один из объектов исследований С.Ф.Царевского (слева), и цветочная морфа «tigrina» гадюки Динника (*Pelias dinniki*), описанная Царевским как самостоятельный вид — тигровая гадюка (*Vipera tigrina*).

Фото Н.Л.Орлова

ти, по скальным ящерицам. В дальнейшем именно на основе изучения сборов Царевского Ланц и его коллега Отто Сирен опишут понтийскую ящерицу (*Lacerta praticola pontica*). Здесь нужно отметить, что эльзасский француз Ланц (1886—1953) и швед Сирен (1878—1946) были герпетологами-любителями, так как получили образование химиков-инженеров и работали в химической промышленности [7]. До революции Ланц много лет трудился в Москве, а Сирен — в Польше, входившей тогда в состав Российской империи. Их сотрудничество, продолжавшееся на протяжении многих лет, выразилось в опубликовании серии совместных работ высокого профессионального уровня, внесших заметный вклад в развитие европейской герпетологии.

Понятно, что тяжелые для страны годы революции 1917 г., Гражданской войны и разрухи сказались и на работе музея. Из-за нехватки финансирования дирекция была вынуждена свернуть большую часть экспедиций. Когда боевой фронт приблизился к Петрограду, Царевского призвали в Рабоче-крестьянскую Красную армию. Неизвестно, как бы сложилась его судьба, если бы не вмешалось руководство музея, которое 15 августа 1918 г. представило «ходатайство перед Комиссариатом по воинскому делу об освобождении от призыва на воинскую службу Сергея Федоровича Царевского <...> ввиду того, что он в настоящее время не может быть заменен другим лицом\*». Более того, в 1919 г. Царевский был избран Советом музея и утвержден Физико-математическим отделением Академии наук на должность младшего зоолога. Произошли изменения и в структуре музея: отдел герпетологии стал самостоятельным подразделением, а его первым заведующим с 1 июня 1919 г. назначен Сергей Федорович. Долгое время в отделе помимо него чис-

\* Санкт-Петербургский филиал Архива РАН. Ф.4. Оп.4. Д.1186. Л.7



Типовые экземпляры жабы Козлова (*Bufo kozlovi*), описанной Царевским. Из коллекции Зоологического института РАН.

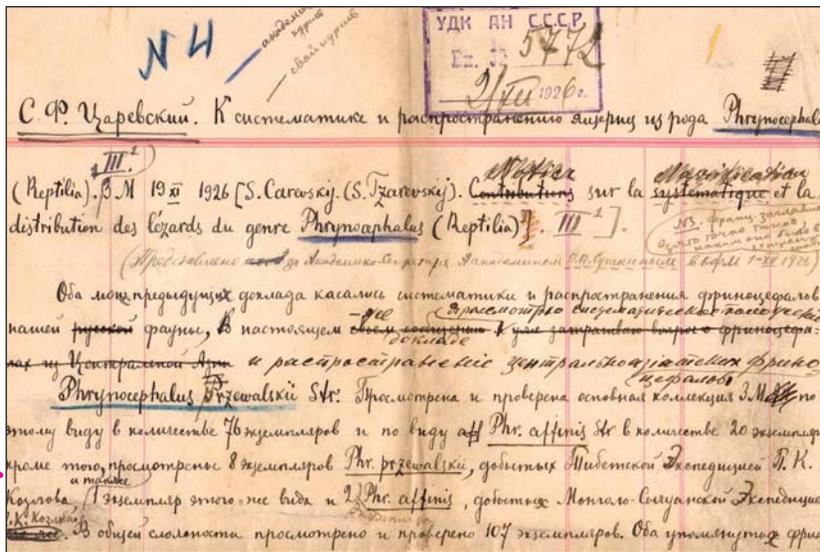
лился только один сотрудник — preparator К.Н.Покровский.

Став заведующим, Царевский занялся обработкой герпетологических материалов из Азии, Африки и Австралии. Работа была сильно осложнена невозможностью выписывать из-за границы как периодические издания, так и отдельные работы зарубежных коллег. По этой же причине он отложил разбор коллекций из Персии, Тибета, Китая и Абиссинии. В связи с известными событиями в Закавказье и Средней Азии на время была прекращена работа по обмену коллекциями с Тифлиским и Ашхабадским музеями. Царевский не смог продолжить исследования систематики гадюк, удавчиков и бурых лягушек: «Эти работы требуют возможно более обширного материала с Кавказа, а для первой необходимо иметь в руках типы, по которым проф. А.М.Никольский описал *Vipera berus dinnicki* (в названии формы вкралась ошибка, так как правильное написание — *dinnicki*. — Н.А. и И.Д.). Их пришлось отложить из-за невозможности выписать материалы из Тбилисского музея» [8. С.90].

1924 год был крайне богат на события. 23 сентября во время катастрофического наводнения затопило первый этаж Зоологического музея, коллекция уцелела лишь благодаря самоотвер-

женности сотрудников. К концу года, после долгого периода согласования и «обивания порогов», музею в связи с празднованием 200-летия Академии наук передали соседнее помещение в бывшем Таможенном пакгаузе, куда были переведены три отдела — ихтиологии, герпетологии и остеологии. В музей поступило «выдающееся приобретение» — зоологические сборы (более 10 тыс. экземпляров) Монгольской экспедиции Русского географического общества, успешно прошедшей под руководством ученика и последователя Пржевальского — П.К.Козлова (1863—1935). Изучение этих коллекций стало важной вехой в работе многих зоологов. Так, если Я.В.Бедряге (1854—1906), предшественнику Сергея Федоровича на поприще изучения герпетофауны Центральной Азии, большую известность принесла обработка сборов экспедиции Н.М.Пржевальского, то Царевскому — как раз экспедиции П.К.Козлова. При ее описании сам Петр Кузьмич сделал следующее примечание: «Из пресмыкающихся в низовье Эцингола нами добыты, по определению С.Ф.Царевского, лягушка (*Rana amurensis*) и новый вид жабы (*Bufo kozlovi*)» [9. С.325].

Имя Царевского как исследователя неразрывно связано с историей изучения агамовых яще-



Рукопись статьи Царевского «К систематике и распространению ящериц из рода *Phrynoscephalus* (Reptilia)». Из Архива отделения герпетологии Зоологического института РАН.

риц рода *Phrynoscephalus*, исследование которых Бедряга справедливо назвал «сложнейшей задачей, с которой только могут иметь дело герпетологи». Если проанализировать все научное наследие ученого, то круглоголовки займут первое место по количеству посвященных им работ. Сергей Федорович описал несколько видов этих ящериц из коллекций Козлова, в том числе круглоголовку Бедряги (*Ph.bedrjagai*) и круглоголовку Сушкина\* (*Ph.suschkinianus*), при этом справедливо отметив недостатки системы рода, предложенные Я.В.Бедрягой и А.М.Никольским. Кроме того он предложил свою, новую для того времени систему признаков, построенную на анализе особенностей строения черепа, положения отростков костей по отношению к продольной оси черепа. И хотя работы были проведены на недостаточном материале, эти краниологические признаки стали использоваться в изучении систематики круглоголовок, а в даль-

\* Академик Петр Петрович Сушкин (1868—1928) был покровителем Царевского, представляя его статьи для публикации в «Докладах Академии наук СССР».

нейшем и в филогении агамовых ящериц.

После Гражданской войны и с началом НЭПа удалось временно восстановить утраченные рабочие контакты с западными герпетологами. Согласно отчетам, в отдел обращались за консультациями Дж.ван Денбург (1872—1924) из Калифорнийской академии наук (Сан-Франциско), Л.Штейнегер (1851—1943) из Американского музея естественной истории (Нью-Йорк); у А.Аренса были приобретены тропические ящерицы (сцинки) и змеи (литоринхи). От В.Вольтерсторфа (1864—1943) из Музея естественной истории и предьстории (Магдебург) была получена большая серия личинок тритонов и половозрелые особи сардинского тритона (*Euproctus platycephalus*) в обмен на типовой экземпляр тритона *Rhithrotriton derjugini* (в настоящее время рассматривается как младший синоним *Neurergus microspilotus*), описанного Нестеровым. Из иногородних отечественных специалистов следует назвать тогда еще совсем молодого выпускника Московского университета П.В.Терентьева (1903—1970), пользовавшегося консультациями Царевского.

## Священнослужитель и репрессии

Несмотря на загруженность научной работой, Сергей Федорович не оставлял служение Церкви. В 1923 г. (по другим данным, в 1922-м) он был рукоположен в сан диакона, став служителем в Моисеевской церкви (Церковь Святителя Моисея Новгородского) на Пороховых [10].

В конце 1920-х годов началась реорганизация Зоологического музея: с одной стороны, на его основе был учрежден первый в стране Зоологический институт, что повышало его научный статус, с другой — проводилась «чистка» рядов сотрудников, что впрочем, происходило во всех структурах АН СССР. В 1929 г. в Зоологическом музее начала работать правительственная комиссия под руководством Ю.П.Фигатнера, которая проверяла личный состав. По свидетельству С.А.Зернова (1871—1945), «проверка штатов и чистка» проходили в октябре-ноябре 1929 г. [11]. Первым, кто попал под сокращение, был именно Сергей Федорович. Известно, что комиссия отчисляла в первую очередь ученых, связанных с церковью или имевших богословское образование. Ф.Ф.Перченков приводит следующий эпизод из воспоминаний С.В.Сигриста: во время собрания коллектива Зоологического музея Фигатнер спросил Царевского, как тот «относится к дарвинизму. Тут директор музея, член-корреспондент АН А.А.Бялыницкий-Бируля крикнул на весь зал: «Дарвин был не только верующим, но и старостой своего прихода в Англии!». Растерявшись, Фигатнер ляпнул: «Это было в Англии, но в Советском Союзе этого не допустили бы» [12. С.202].

О результатах деятельности комиссии Фигатнера говорит «Заключение», принятое Локальным бюро Секции научных работников по докладу о зоологических учреждениях АН СССР. Требования властей к деятельно-

сти Зоологического музея носили резко выраженную идеологическую окраску: «За время революции, как, впрочем, и раньше, если судить по научной продукции, интереса к марксизму не проявил никто»; в «Заключении» констатируется, что «ничего не сделано для приспособления выставочного отдела к нуждам политпросветской работы» [11. С.292]. В отношении Царевского были приняты соответствующие меры. Из протокола заседания Комиссии по проверке аппарата АН СССР от 20.VIII—1929 г.:

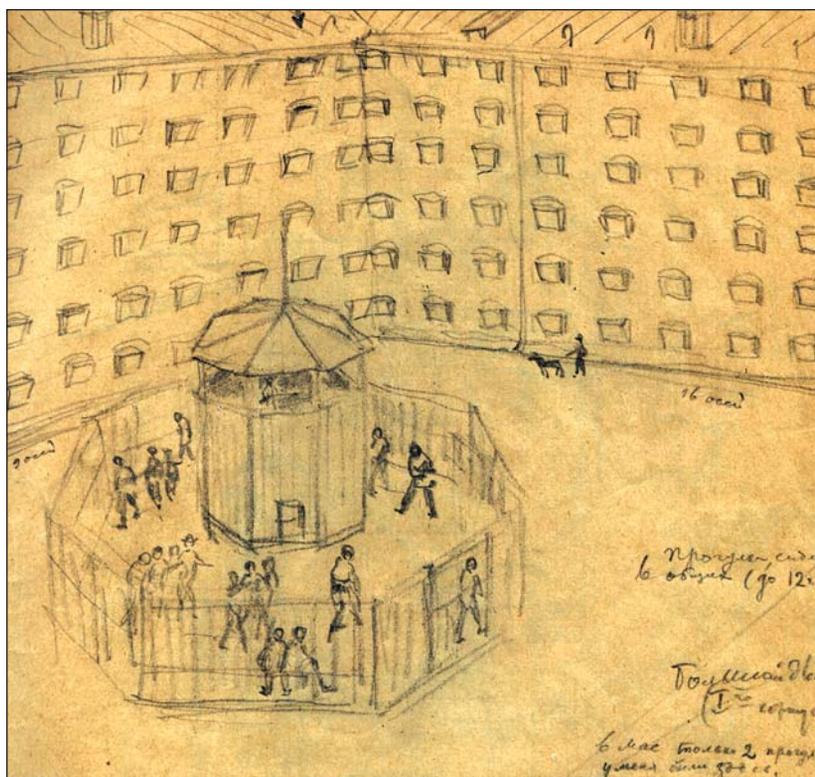
*«Слушали: п. 26. Царевский С.Ф. Ученый хранитель, заведующий отделом герпетологии. В Академии наук работает с 1915 г.; в 1921 г. принял сан дьякона, продолжая работу в Зоологическом музее, служил в различных церквях; по его словам, прекратил службу в 24 г. и сдал документы в Епархиальное управление. Заявление о сложении сана дьякона не подавал. По полученной справке в 1924 г. Епархиального управления не существовало.*

*Постановили: снять с работы в Академии наук по Первой категории.*

*Председатель Фигатнер  
Секретарь Садовский\**

После отлучения от науки Сергей Федорович всецело отдает себя служению в церкви, получив в 1930 г. сан протоиерея. Однако увольнением из Зоологического музея «дело» Царевского не кончилось: он был арестован 28.12.1930 по делу Ленинградского «филиала» истинно-православной церкви, или «Церковному делу». Под стражей Сергей Федорович находился в Доме предварительного заключения г. Ленинграда (Внутренняя тюрьма ПП ОГПУ, или Шпалерная тюрьма). Здесь в тяжелых условиях содержались многочисленные жертвы политических репрессий. Название «Шпалерка» стало нарицательным среди ленинградцев.

\* Санкт-Петербургский филиал Архива РАН. Ф.4. Оп.4. Д.1186. Л.7.



Н.Е.Лансере. Прогулка заключенных общих камер. 1931—1932. Ленинград, Внутренняя тюрьма ПП ОГПУ. Бумага, карандаш. Из музейной коллекции Санкт-Петербургского научно-информационного центра «Мемориал».

Открытый процесс по сфабрикованному делу так и не состоялся. Судьбу арестованных решила во внесудебном порядке коллегия ОГПУ. Царевский был приговорен 8 октября 1931 г. по обвинению в «участии в контрреволюционной монархической церковной организации (статья ст. 58-10 УК РСФСР)» к пяти годам исправительно-трудовых лагерей\*\*.

После освобождения Сергей Федорович был выслан в Казань. Опубликованы воспоминания художницы В.А.Шолпо (1902—1970), также высланной в конце 1935 г. из Ленинграда. Она смогла устроиться на работу лишь в мастерскую фанерной игрушки, организованную Г.А.Остен-Сакеном — бывшим бароном, высланным в Казань из-за жены-англичанки. Коллектив сотруд-

\*\* Архив Управления Федеральной службы безопасности РФ по Санкт-Петербургу и Ленинградской обл. ДП-83017. Л.30.

ников показался художнице несколько странным: пятеро учеников-беспризорников, трудившихся за символическую плату, «бывший морской командир Эдуард Эдуардович Фришмут, высланный, не спрашивала откуда и когда», «художник Бобровицкий Иосиф Ефимович, высланный из Баку за принадлежность жены к партии эсеров» и «пожилой человек, высланный из Ленинграда за религиозные убеждения и прошедший уже ссылку, научный работник Царевский Сергей Федорович» [13].

О последних годах жизни ученого мы узнали из воспоминаний В.И.Гаранина: «Предпринятая по просьбе П.В.Терентьева, занимавшегося тогда организацией первой Всесоюзной герпетологической конференции, попытка найти место проживания Сергея Федоровича закончилась удачей. Выяснилось, что он проживал в центральной части Казани, в доме на углу улиц



Могила С.Ф.Царевского в православном некрополе Арского кладбища при Храме Ярославских Чудотворцев в Казани.  
Фото Е.Ю.Пономарева

Щапова и Комлева. Здесь издавна был “академический” район Казани, где поселялись профессора, врачи, юристы и другие представители интеллигенции.

Я встретился с Царевским. Трудно судить о человеке с первой (и единственной) встречи, но мне вспоминается высокий худой старик в белой просторной рубашке (был жаркий день), стоявший около кухонной плиты и готовивший себе обед. Вероятно, мое вторжение и тема разговора были для него неожиданными, и сначала разговор у нас не складывался. Но в итоге переговоры о его возможном участии в конференции также были удачными. Приехать на конференцию в Ленинград он не согласился, насколько помнится, из-за состояния здоровья и возраста (было это летом 1963 или 1964 г., и ему было за 75), но обещал для сборника конференции выслать свои материалы “К систематике ящериц из рода круглоголовок”, что и было им сделано. В последующем мне удалось узнать, что С.Ф.Царевский пел в церковном хоре, а позднее — уже в XXI в. — стало известно (из работы А.М.Елдашева, доцента Институ-

та государственной службы при президенте РФ), что он был диаконом кладбищенской Куртинской (Арской) церкви до своей смерти» [14. С.808—809].

Диакон храма Ярославских чудотворцев С.Ф.Царевский умер 22 марта 1971 г. в возрасте 84 лет. Похоронен он в православном некрополе Арского кладбища при Храме Ярославских Чудотворцев. Церковь стоит на старом городском кладбище, возникшем, вероятно, еще в XVII в. Там захоронены многие выдающиеся казанцы, жившие в XIX—XX вв.

Закончить рассказ о жизненном пути Сергея Федоровича Царевского мы решили знаменитыми строками Николая Степановича Гумилева, невольно связанного с ним одним страшным эпизодом — заключением в Шпалерной тюрьме:

*Есть Бог, есть мир; они живут вовек  
А жизнь людей мгновенна и убога,  
Но все в себя вмещает человек,  
Который любит мир и верит в Бога.*

## Литература

- Contributions to the History of Herpetology / Ed. K.Adler. Oxford, 2012. V.3. P.215—216.
- Некролог: Памяти Ф.Л.Царевского. — Бывший инспектор духовной семинарии // Псковские епархиальные ведомости. 1912. №24. С.645—648.
- Попов В. Памяти отца Константина Шаховского // Вестник Русского студенческого христианского движения. 2000. №181. С.269—277.
- Фокин С.И., Слепкова Н.В. Кто и чему учил зоологов в Санкт-Петербургском университете. Вторая половина XIX — начало XX века // Зоотомический кабинет (кафедра зоологии беспозвоночных) Санкт-Петербургского университета. К 140-летию основания. М., 2011. С.43—83.
- Отчет по Зоологическому музею Императорской Академии наук за 1914 г. Составлен директором Музея академиком Н.В.Насоновым. Пг., 1915.
- Отчет по Зоологическому музею Императорской Академии наук за 1915 г. Составлен директором Музея академиком Н.В.Насоновым. Пг., 1917.
- Contributions to the History of Herpetology / Ed. K.Adler. Saint Louis, 2007. V.2. P.139—140.
- Отчет о деятельности Российской академии наук по Отделениям Физико-математических наук и исторических наук и филологии за 1919 г., составленный непременным секретарем-академиком С.Ф.Ольденбургом. Пг., 1920.
- Козлов П.К. Монголия и Амдо и мертвый город Хара-Хото. М., 1948.
- Синодик гонимых, умученных, в узах невинно пострадавших православных священно-церковнослужителей и мирян Санкт-Петербургской епархии: 20 столетие / Ред. В.Сорокин. СПб., 2002.
- Слепкова Н.В. Реорганизация Академии наук 1929—1931 гг. и Зоологический музей // Академический архив в прошлом и настоящем: Сборник научных статей к 280-летию Архива Российской академии наук / Ред. И.В.Тункина. СПб., 2008. С.292—302.
- Перченко Ф.Ф. Академия наук на великом переломе // Звенья: Исторический альманах. Вып.1. М., 1991. С.163—238.
- Сальникова А. Блестящий воспитатель // Вокруг Света. 2010. №12. С.250—258.
- Гаранин В.И. Зоология: фрагменты биографий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т.11. №1. С.808—809.

# Ранние каталоги двойных звезд

А.В.Кузьмин,

кандидат физико-математических наук

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

Москва

В статье «Небо Иоганна Байера» [1] была сделана попытка объяснить значение выделенных звезд атласа «Уранометрия» Байера. В результате было, в частности, высказано предположение о возможном использовании простейших оптических средств в процессе наблюдений звезд. Установлено, что «белыми звездами» на картах Байера выделены некоторые визуально двойные пары, которые наблюдаются невооруженным глазом, а также объекты, парность которых может быть обнаружена только с помощью оптики. Но в связи с чем именно эти звезды стали предметом особого внимания?

## Скопления близких звезд

Оптические пары и в более широком смысле оптически кратные звезды\* на протяжении всей письменной истории привлекали определенное внимание наблюдателей. Алькор—Мицар — визуально двойная система, идеально подходящая для тестирования глаза (яркость Алькора определяет грань нормального человеческого зрения). Плеяды, в которых различается шесть звезд (а седьмая находится на пределе), описаны у Гомера как один из основных навигационных указателей:

*Руль обращая, он бодрствовал; сон на него не спускался.  
Очи, и их не сводил он с Плеяд, с нисходящего поздно  
В море Воота, с Медведицы, в людях еще Колесницы,  
Имя носящей и близ Ориона свершающей вечно  
Круг свой, себя никогда не купая в водах Океана.*

Одиссея V. Пер. В.А.Жуковского

Дело в том, что до начала XIX в. невозможно было разделить оптически двойные (кратные, звездные скопления) звезды от физически двойных (кратных). Понятие двойной и кратной звезд, связанных тяготением, появляется у В.Гершеля лишь в 1802 г. Согласно современной терминологии, двойная (кратная) звезда — система, связанная силами взаимного тяготения. По методике обна-

ружения различают: визуально-двойные (наблюдаемые непосредственно в телескоп), спектрально-двойные (по периодическим изменениям в спектрах), затменно-двойные (по периодическим изменениям яркостей), астрометрически двойные (по периодическим возмущениям собственных движений).

В начале своих наблюдений все близкие звезды Гершель считал оптическими парами, случайно располагающимися практически на одном луче зрения. И только точность его наблюдений позволила сделать это открытие. Маленькая революция в осознании звездного разнообразия началась в 1781 г. и завершилась в 1802-м. Ранее, как правило, предполагалось, что слабая звезда в паре находится на более далеком расстоянии, чем более яркая.

## Возможно?.. Или необходимо?!

Отступив на время от размышлений о самой возможности таких наблюдений близких звезд, ответим на вопрос о связи этого эффекта с известными задачами, которые ставила перед собой астрономия в то время.

Круг проблем, в связи с которыми возникла (или могла возникнуть) проблема «раздваивания» некоторых звезд при их оптическом наблюдении (разумеется, в рамках самых первых шагов телескопической астрономии), следующий.

— Доказательство годового движения Земли вокруг Солнца (т.е. подтверждение справедливости теории Н.Коперника путем измерения параллакса звезд). В частности: определение диаметра сферы неподвижных звезд. Определение ее толщины или опровержение самого существования (ее конечных пределов).

— Гипотезы (всевозможные положения) о размерах дисков звезд различных величин.

— Проблема временных и переменных явлений, происходящих на сфере неподвижных звезд (появление новой 1572 года, кометы 1577 года, начало изучения переменных звезд безусловно увеличивали внимание ко всем новым наблюдаемым эффектам).

\* Звездные скопления, или, устар., звездные кучи.

— Правомерность использования телескопа (зрительной трубы, перспективы) для объективного описания небесных явлений. Этот вопрос возникал и как экспериментальный, и как идеологический.

Кроме того, в литературе отражены достоверные сведения о принципиальной возможности наблюдения этого элементарного эффекта еще в XVI в., вместе с непрямыми свидетельствами о возможности Тихо Браге или кого-то из его сподвижников пронаблюдать, зафиксировать и, кроме того, использовать эффект «раздваивания» в попытках измерять параллаксы звезд.

Последнее обстоятельство представляет особый интерес, так как положения многих выделенных объектов, ставших предметом внимания (вблизи эклиптики, ее особых точек и полюса), подходят для реализации хорошо известного еще в XVI в. метода доказательства годового движения Земли вокруг Солнца. Таким образом, рассматриваемые звезды могли иметь самое непосредственное отношение к решению наиболее важного, ключевого для астрономов рубежа XVI—XVII вв. вопроса выбора между гео- и гелиоцентрической моделями мира.

## Движение Земли

Для доказательства годового движения Земли вокруг Солнца достаточно пронаблюдать параллаксы звезд. Тихо Браге, известный разрушитель аристотелевых сфер, разумеется, хотел разрушить и последнюю — сферу звезд. И присутствие сферы на изображении его знаменитой системы мира говорит скорее не о том, что он признавал ее существование, а о том, что, будучи крайне добросовестным наблюдателем, не смог экспериментально ее опровергнуть. Ему так и не удалось показать наличие параллакса у звезд, тем не менее он верил и вполне осознавал причину неизмеримости этого эффекта.

Тихо Браге был одним из лучших (если не лучшим) знатоком методик определения параллаксов звезд, но ему так и не удалось получить конкретных результатов. Временно нарушая логику исторического изложения (хронологическую последовательность), вспомним, что впоследствии Галилей (у которого, как и у Тихо, не было никаких шансов реализовать этот метод практически) с присущей ему легкостью умозрительного экспериментатора описывает последний в Дне третьем *Диалог о двух главнейших системах мира*: «Не исключена возможность того, что с течением времени среди неподвижных звезд будет найдено что-либо, из наблюдения над чем можно будет сделать заключение о годовом обращении, так что звезды не меньше планет и самого Солнца захотят явиться перед судом, свидетельствуя о таком движении в пользу Земли. Я не думаю, чтобы звезды были рассеяны по

сферической поверхности и равно удалены от центра, и считаю, что их расстояния от нас различны, что одни звезды могут быть в два и три раза больше удалены, чем некоторые другие, так что, если бы нашлась посредством телескопа какая-нибудь очень маленькая звезда совсем близко от одной из более крупных и если бы первая притом была очень высока, то может случиться, что в их расположении и произойдет какое-нибудь ощутимое изменение, соответственно тому, что происходит с верхними планетами. Вот что нужно было пока сказать, в частности, о звездах, находящихся на эклиптике» [2. С.275]. Иными словами, если такие звезды находятся на эклиптике, то более яркая, подобно верхней планете, опишет маленькую петлю, при том что слабая звезда должна оставаться неподвижной.

Используя оптическую пару, кроме наличия параллакса можно обнаружить разницу параллаксов двух объектов и кроме доказательства вращения Земли получить еще и оценку толщины звездной сферы — пределы рассеяния звезд в пространстве и в дальнейшем — отсутствие некоей конечной толщины сферы как таковой. Кроме доказательства теории Коперника сделан шаг и к подтверждению тезиса о бесконечности Вселенной. Использование пар ненаблюдаемых просто глазом (с учетом простейших оптических возможностей) здесь показано очень эффективно, поскольку чем ближе звезды, тем убедительнее должно быть изменение их взаимного положения.

Логично брать звезды столь близкие, что простому глазу они вообще кажутся одним целым. Тем не менее пронаблюдать эффект не удалось. Гениальное прозрение не было подтверждено визуально. Это, скорее всего, стало причиной забвения и самого факта совершенного, но до конца не осознанного открытия, ибо для Тихо Браге наблюдение неба было сакральным действием, а результаты и их обобщенные толкования становились частью его труда, для него равнозначного созданию Библии — Библии Природы, куда он включал только выверенные (канонические) положения, в которых не мог усомниться в первую очередь он сам. И этим можно объяснить отсутствие данных о попытках использовать, к примеру, оптические визиры, в трудах, где Браге в мельчайших подробностях описывает приборы обсерватории Ураниборга. Зачем упоминать об одном из вспомогательных шагов, каковым является выбор звезд, выделенных в атласе особым способом гравирования и ставших предметом нашего внимания? Но сам эффект раздваивания все же (вероятнее всего — умышленно) остался (оказался) зафиксированным, в том числе и с целью привлечь внимание будущих исследователей.

За подтверждением возможности подобного факта вновь обратимся к Галилею, который вскоре написал, что наблюдение подобных эффектов есть несомненная заслуга зрительной трубы. Га-

В книге немера

лилей, будучи величайшим мастером умозрительного эксперимента, вообще не сомневался в объективности и истинности результатов экспериментов, которые иногда (порой) мог проводить лишь в воображении, оказываясь при этом правым и, кроме того, не боялся публиковать свои мысли в самой общедоступной форме. Галилей (в отличие от вероятных предшественников) не усомнился в том, что раздваивание некоторых звезд — безусловно заслуга нового телескопического метода: «В качестве другого примера мы нарисовали шесть звезд Тельца, называемых Плеядами (я говорю о шести, так как седьмая почти никогда не видна) и заключенных в небе внутри теснейших пределов; к ним прилегают и другие невидимые, в количестве большем сорока; ни одна из них не удаляется более чем на полградуса от любой из этих шести. Из них мы отметили только тридцать шесть...» [3. С.36—37].

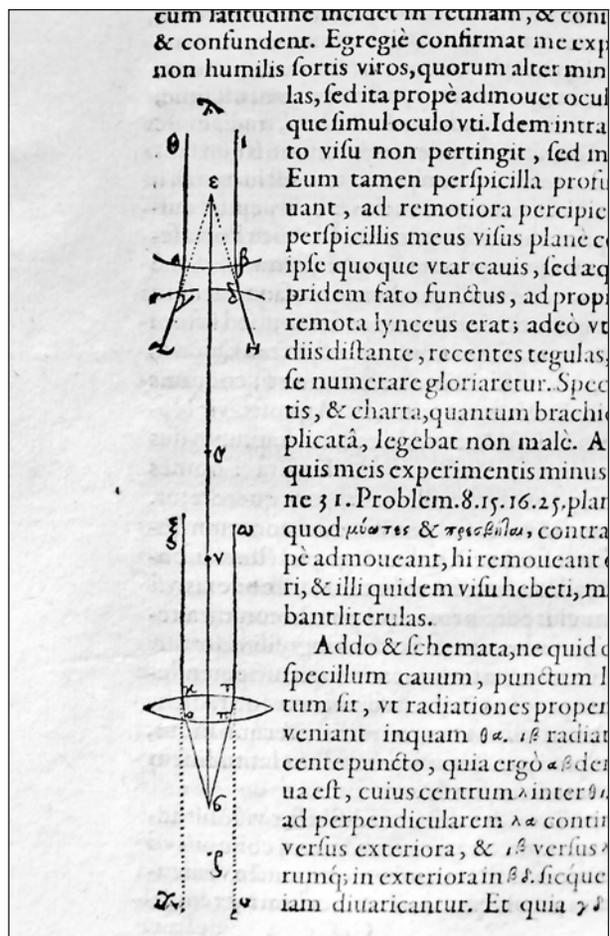
### Другие свидетельства

Принципиальная возможность наличия таких оптических приспособлений показана С.И.Вавиловым: «Несомненно, что Леонардо не только мечтал о телескопических устройствах, но действительно их осуществлял. В кодексе А (лист 12) находятся следующие строки, поясняемые рисунком: *Чем дальше отодвигаешь ты стекло от глаза, тем большими покажет оно предметы; если глаза для сравнения глядят один через очковое стекло, другой вне его, то для одного предмет покажется большим, а для другого малым* <...> Леонардо передает здесь не совсем известное, но крайне просто повторяемое наблюдение о значительных увеличениях, достигаемых при рассмотрении простым глазом действительного изображения удаленного предмета от выпуклой линзы, если фокусное расстояние линзы больше, чем расстояние наилучшего зрения» [4. С.19—20].

В качестве свидетельства в пользу того, что Тихо мог экспериментировать с простейшей оптикой, можно привести факт — наличие огромного интереса к исследованию атмосферной рефракции. Среди важнейших заслуг, оказанных астрономии Тихо Браге, Пьер Симон Лаплас указывает, что он «исследовал несравненно лучше прежнего астрономическое лучепреломление» [5. С.289].

Другим аргументом может быть встреча Тихо Браге с Рамусом в Аугсбурге в 1569 или 1570 г. Именно Рамус серьезно повлиял на то, что и астрономия, и оптика были признаны физическими науками. Наличие в Ураниборге алхимической лаборатории, где, очевидно, проводились опыты в том числе и со стеклом, также говорит в пользу гипотезы.

Очки были хорошо известны. И какое должно было быть искушение у наблюдателей Тихо их использовать. Во-первых, даже при небольших от-



Ход лучей в линзах телескопа Галилея. Описан Кеплером в 1604 г.

клонениях зрения очками можно легко скорректировать его так, что различных звезд становится значительно больше и даже нормальным глазам таким образом можно создать искусственную дальновзоркость. Во-вторых, известно сообщение: «В комментариях к *Метеорам* Аристотеля, изданных в 1646 г. в Риме, математик Николаус Кабеус рассказывает, например, что знал в Модене старика иезуита — священника, который лет за двадцать до открытия Галилея пользовался такой же оптической системой для чтения “часов” во время церковной службы. К глазу он прижимал вогнутую линзу, а выпуклую держал другой рукой. Так он мог читать самую мелкую печать, находящуюся на другом конце кельи. Монах оптикой не занимался, не интересовался причиной такого улучшения зрения, нашел систему случайно, комбинируя очки, и не считал ее важным делом» [4. 28—29]. Кажется маловероятным, чтобы если не сам Тихо, то кто-либо из его наблюдателей не был захвачен предполагаемыми возможностями такого эксперимента.

Наши рассуждения приводят к выводу, что факт полного отсутствия возможности использо-

вать простейшие оптические средства в астрономических измерениях у Тихо Браге едва ли можно считать абсолютно достоверным.

Когда Галилей не смог до конца осознать тройственность Сатурна, то воспользовался шифром и послал Кеплеру знаменитую последовательность букв, из которых можно составить фразу. В переводе она звучит так: «*Высочайшую планету тройною наблюдал*». Вероятно точно так же, на гравюрах Байера тайным (неафишируемым) образом были отражены наблюдения раздваивания некоторых звезд. Необычные символы сохранились именно потому, что этот набор объектов пытались использовать для определения разности взаимных параллаксов, что стало бы доказательством годового движения Земли вокруг Солнца, и, таким образом, перед нами предстает первый специализированный каталог таких объектов. Этот хорошо известный еще в XVI в. способ, призванный дока-

зать правоту Коперника, подробно, со свойственной ему легкостью умозрительного экспериментатора, описывает Галилей в *Диалоге о двух системах мира*. Причем именно таким способом Струве и Бессель впервые, только уже в XIX в., смогли определить расстояния до ближайших звезд, принимая, как и Галилей, параллакс слабых звезд равным нулю.

Особо зоркий, специально натренированный глаз также может увидеть больше объектов, но, учитывая достаточную слабость многих из тех, что привлекли наше внимание, здесь должна быть использована оптика. Причем достаточно самой элементарной оптики в сочетании с высочайшим качеством механики инструментов Тихо. А что касается, собственно, самой проблемы тайнописи, то такой способ сообщения информации совершенно обычен в натурфилософских произведениях того времени. ■

## Литература

1. Кузьмин А.В. Небо Иоганна Байера // Природа №3. 2003. С.92—96.
2. Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой / Пер. А.И.Долгова. М.; Л., 1948.
3. Галилей Г. Звездный вестник / Пер. И.Н.Веселовского // Избранные труды. М., 1964.
4. Вавилов С.И. Галилей в истории оптики // Галилео Галилей. 1564—1642. М.; Л., 1943.
5. Лаплас. Изложение системы мира / Сочинение маркиза Лапласа, переведенное М.С.Хотинским. Т.1—2. СПб., 1861.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы  
**О.О.АСТАХОВА**  
**Ю.А.БЕЛОУСОВ**  
**Л.П.БЕЛЯНОВА**  
**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 16.05.2012  
Формат 60×88 1/8  
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 245  
Набрано и сверстано в редакции

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