

ISSN 0032-874X

# ПРИРОДА

2 16



Главный редактор  
академик, доктор физико-математических наук **А.Ф.Андреев**

Заместитель главного редактора  
доктор физико-математических наук **А.В.Бялко**

доктор биологических наук **А.С.Апт**, доктор геолого-минералогических наук **А.А.Арискин**, член-корреспондент, доктор физико-математических наук **П.И.Арсеев**, **О.О.Астахова**, доктор биологических наук **Ф.И.Атауллаханов**, член-корреспондент, доктор юридических наук **Ю.М.Батурич**, доктор биологических наук **Д.И.Берман**, доктор биологических наук **П.М.Бородин**, **М.Б.Бурзин**, доктор физико-математических наук **А.Н.Васильев**, член-корреспондент, доктор филологических наук **В.И.Васильев**, кандидат биологических наук **М.Н.Воронцова**, доктор физико-математических наук **Д.З.Вибе**, кандидат физико-математических наук, доктор биологических наук **М.С.Гельфанд**, академик, доктор физико-математических наук **С.С.Герштейн**, профессор **А.Глухов** (**A. Glukhov**, США), академик, доктор физико-математических наук **Г.С.Голицын**, доктор химических наук **И.С.Дмитриев**, кандидат биологических наук **С.В.Дробышевский**, академик, доктор физико-математических наук **Л.М.Зеленый**, академик, доктор биологических наук **Н.А.Зиновьева**, академик, доктор биологических наук **А.Л.Иванов**, профессор **Т.Йованович** (**T. Jovanović**, Сербия), доктор биологических наук **С.Л.Киселев**, кандидат географических наук **Т.С.Клювиткина**, член-корреспондент, доктор физико-математических наук **М.В.Ковальчук**, доктор биологических наук **С.С.Колесников**, **Е.А.Кудряшова**, профессор **Е.Куниин** (**E. Koonin**, США), академик, доктор геологоминералогических наук **Н.П.Лаверов**, доктор геолого-минералогических наук **А.Ю.Ленин**, член-корреспондент, доктор биологических наук **В.В.Малахов**, профессор **Ш.Миталипов** (**Sh. Mitalipov**, США), доктор сельскохозяйственных наук **Ю.В.Плугатарь**, доктор физико-математических наук **М.В.Родкин**, академик, доктор биологических наук **Л.В.Розенштраух**, академик, доктор физико-математических наук **А.Ю.Румянцев**, член-корреспондент, доктор биологических наук **Н.И.Санжарова**, доктор физико-математических наук **Д.Д.Соколов**, кандидат физико-математических наук **К.Л.Сорокина**, кандидат исторических наук **М.Ю.Сорокина**, **Н.В.Ульянова**, академик, доктор физико-математических наук **Л.Д.Фаддеев**, академик, доктор биологических наук **М.А.Федонкин**, академик, доктор физико-математических наук **А.Р.Хохлов**, академик, доктор физико-математических наук **А.М.Черепашук**, академик, доктор физико-математических наук **Ф.Л.Черноусько**, член-корреспондент, доктор химических наук **В.П.Шибяев**, **О.И.Шутова**, кандидат биологических наук **А.О.Якименко**, доктор геолого-минералогических наук **А.А.Ярошевский**

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Раннемеловой птерозавр *Tyruxuara leonardii*.  
См. в номере: **Комаров В.Н.** *Древние существа Земли и среда их обитания.*

Художник С.В.Красовский

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Водлозерский национальный парк.  
См. в номере: **Назарова Л.Е., Кузнецова Е.В.** *Комфортна ли погода Водлозерья?*

Фото Е.В.Кузнецовой



**В НОМЕРЕ:**

**3 Гельфанд М.С.**  
**Инфекционный рак**  
 Когда говорят о раке как об инфекционном заболевании, обычно имеют в виду вирусы, провоцирующие его развитие. Однако и сами раковые клетки могут выступать в роли патогена. Попав в новый организм, они становятся родоначальниками опухоли. Уже известно несколько инфекционных видов рака.

**8 Касацкая С.А.**  
**Т-лимфоциты: путешественники и домоседы**  
 Клетки иммунной системы путешествуют по лимфе и кровотоку в поисках патогенов, распознают их и обезвреживают. Но значительная часть Т-лимфоцитов находится не в крови и не в лимфоузлах, а в органах, не относящихся к иммунной системе. Чем же заняты резидентные Т-клетки тканей, как они туда попадают и какие преимущества для медицины может дать их изучение?

**15 Лейбман М.О., Кизяков А.И.**  
**Новый природный феномен в зоне вечной мерзлоты**  
 Осенью 2013 г. в тундре Центрального Ямала было обнаружено новое явление — воронка газового выброса. Повышение температуры воздуха в течение последнего десятилетия привело к высвобождению газа (в основном метана) из мерзлых пород и подземного льда.

**25 Лобкина В.А., Казакова Е.Н.**  
**Снегоопасность городов Сахалина**  
 На Сахалине каждый год выпадает избыточное количество снега. Здесь нередки лавины, метели, снежные заносы. Насколько опасны они для городских поселений? Как бороться с последствиями обильных снегопадов и возможно ли их предотвратить?

**32 Степаньян О.В.**  
**Как меняется фитобентос южных морей России?**  
 Изучение видового разнообразия макроводорослей южных морей России, проводимое в настоящее время, позволяет понять, как изменения климата и деятельность человека влияют на состояние этой флоры. Изменения, происходящие сегодня в прибрежных экосистемах, должны учитываться в деятельности человека, чтобы избежать негативных явлений.

**Научные сообщения**

**43 Нейморовец В.В.**  
**Хищный клоп периллюс осваивает юг России**

**Комаров В.Н.**  
**Разрезы, спрессовавшие время (48)**

**Кизильштейн Л.Я.**  
**Сульфатвосстанавливающие бактерии: великие дела маленьких существ (51)**

**Назарова Л.Е., Кузнецова Е.В.**  
**Комфортна ли погода Водлозерья? (54)**

**Времена и люди**

**58 ДЕЛО БРУНО ПОНТЕКОРВО**  
**Булюбаш Б.В.**  
**Два взгляда (58)**

**Герштейн С.С.**  
**Факты и предположения (65)**

**68 Щербаков Р.Н.**  
**Рыцари великого закона**  
 К 175-летию открытия закона сохранения энергии

**77**  
**Новости науки**  
 Тайна облака G2 (77). Марс под влиянием солнечного ветра. **Вайсберг О.Л.** (78). Как уровень серотонина матери определяет тип поведения потомков? **Воронежская Е.Е.** (80). Культура вальдивия: возможности трансокеанских контактов в Пасифике. **Табарев А.В., Попов А.Н., Маркос Х.Г.** (81)

**Рецензии**

**83 Комаров В.Н.**  
**Древние существа Земли и среда их обитания**  
 (на кн.: М.С.Архангельский, А.В.Иванов. Картины прошлого Земли. Палеоэкологические этюды)

**86**  
**Новые книги**

**В конце номера**

**90 Наугольных С.В.**  
**Палеоарт**

## CONTENTS:

### 3 **Gelfand M.S.** **Transmissible Cancer**

*When people talk about cancer as an infectious disease, they usually mean viruses that trigger its development. However, cancer cells themselves can act as pathogens. If they get into a new organism, they become the ancestors of the tumor. Several transmissible cancers are already known.*

### 8 **Kasatskaya S.A.** **T-Cells: Residents and Travelers**

*Immune cells are in constant move via blood and lymph searching for pathogens, recognizing and neutralizing them. However, a substantial number of T-lymphocytes are located in non-lymphoid organs — outside of blood or lymph nodes. How stay-at-home T-cells get there, what functions do they perform and what are the benefits for medicine from studying them?*

### 15 **Leibman M.O., Kizyakov A.I.** **New Natural Phenomenon in Permafrost Zone**

*In autumn 2013 a new phenomenon was found in Central Yamal tundra: a gas emission crater. Air temperature increase during the last decade led to a gas release (mainly methane) from frozen rocks and underground ice.*

### 25 **Lobkina V.A., Kazakova E.N.** **Snow Hazard in Sakhalin Towns**

*Every year excessive amounts of snow fall on Sakhalin Island. Avalanches, blizzards, snowdrifts are frequent there. How dangerous are they for urban settlements? How to deal with the consequences of a heavy snowfall, and can they be prevented?*

### 32 **Stepanyan O.V.** **How Does Phytobentos of Southern Russian Seas Change?**

*Study of species diversity of macroalgae in southern Russian seas being conducted now allows to understand how climate changes and human activity affected this flora. Current changes of these coastal ecosystems must be taken into account in human activities to avoid their adverse effects.*

## Scientific Communications

### 43 **Neimorovets V.V.** **Predatory Bug *Perillus* Reclaims Southern Russia**

### **Komarov V.N.** **Geological Sections that Compressed Time (48)**

### **Kizelshtein L.Ya.** **Sulfate-Reducing Bacteria: Great Things Small Creatures Do (51)**

### **Nazarova L.E., Kuznetsova E.V.** **Is the Weather in Vodlozero Area Comfortable? (54)**

## Times and People

### 58 **BRUNO PONTECORVO'S CASE** **Bulyubash B.V.** **Two Points of View (58)**

### **Gershtein S.S.** **Facts and Speculations (65)**

### 68 **Shcherbakov R.N.** **Knights of the Great Law** To 175th Anniversary of the Law of Conservation of Energy

### 77 **Science News** The Riddle of G2 Cloud (77). Mars under Influence of Solar Wind. **Vaisberg O.L.** (78). How the Level of Maternal Serotonin Defines the Type of Offspring Behavior? **Voronezhskaya E.E.** (80). Valdivia Culture: Possibility of Transoceanic Contacts in Pacific. **Tabarev A.V., Popov A.N., Marcos H.G.** (81).

## Book Reviews

### 83 **Komarov V.N.** **Ancient Creatures of the Earth and Their Environment** (on book: M.S.Arkhangel'sky, A.V.Ivanov. Scenes of Earth's Past. Paleoeological Sketches)

### 86 **New Books**

## End of the Issue

### 90 **Naugolnykh S.V.** **Paleoart**

# Инфекционный рак

М.С.Гельфанд

Когда говорят о раке\* как об инфекционном заболевании, обычно имеют в виду вирусы, которые провоцируют его развитие. Среди самых известных примеров — вирусы папилломы человека 16-го и 18-го типов (вызывающие рак шейки матки), вирус Эпштейна—Барр, или вирус герпеса человека 4-го типа (лимфома Беркитта), и вирус саркомы Рауса (злокачественные опухоли соединительной ткани у птиц). Рак могут также провоцировать некоторые паразитические плоские черви, например кошачья двуустка (*Opisthorchis felineus*) и шистосома (*Schistosoma*) [1].

Однако есть заболевания, которые переносятся самими раковыми клетками. Попав в новый организм, они становятся родоначальниками опухоли. Тем самым, мы имеем дело с классическим инфекционным агентом, использующим хозяина для размножения и дальнейшего переноса в другой организм. Хотя известно всего несколько таких случаев, их список постепенно растет — и, похоже, то, что раньше считалось исключением, вполне

\* В русскоязычной медицинской литературе под раком подразумевают только злокачественные новообразования из эпителиальной ткани. Согласно англоязычной медицинской терминологии, рак — это любая злокачественная опухоль, а та, которая развивается из эпителиальной ткани, — карцинома. В этой статье для простоты под словом «рак» тоже подразумеваются любые злокачественные новообразования.



*Михаил Сергеевич Гельфанд, доктор биологических наук, член Европейской академии, заместитель директора Института проблем передачи информации им.А.А.Харкевича РАН, профессор факультета биоинженерии и биоинформатики Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — биоинформатика, сравнительная и функциональная геномика, системная биология, метагеномика.*

**Ключевые слова:** геном, рак, клеточная линия HeLa, злокачественные опухоли.  
**Key words:** genome, cancer, HeLa cell line, malignant tumors.

может оказаться правилом. Изучение таких видов рака (в частности, выяснение их эволюционной истории и эпидемиологические исследования) существенно продвинулось в последние несколько лет благодаря секвенированию геномов опухолевых клеток.

## Собаки

Один из таких видов рака — трансмиссивная венерическая саркома собак (Canine Transmissible Venereal Tumor — CTVT). Это опухоль наружных половых органов псовых, известная как отдельное заболевание уже более 200 лет [2]. В 1876 г. российский ветеринар М.А.Новинский продемонстрировал передачу болезни при переносе раковых клеток от больной собаки здоровой [3]. Хотя опухоль выглядит ужасно, в большинстве случаев она поддается полному излечению с помощью химиотерапии, а иногда даже сама исчезает через несколько месяцев.

Геном этой опухоли, а точнее, два генома — опухоли чистопородного американского кокер-спаниеля из Бразилии и собаки австралийских аборигенов, секвенировали в 2014 г. [4]. Количество мутаций в каждом из геномов примерно в 100 раз превышало число мутаций других раковых опухолей, что отражает давнюю историю накопления этих изменений. Свыше 10 тыс. генов — чуть меньше половины — имеют мутации, которые полностью разрушают более чем 600 генов. Спектр наблюдаемых нуклеотидных замен напоминает некоторые виды человеческого рака; в частности, хорошо заметны мутации, вызываемые ультрафиолетовым излучением.

Из сопоставления с геномами современных собак выяснилось, что представитель семейства псовых, в котором зародилась опухоль,



Аляскинский маламут — ближайший родственник собаки, впервые заболевшей трансмиссивной венерической саркомой 11 тыс. лет назад.

жил около 11 тыс. лет назад и больше всего походил на аляскинского маламута. Это была среднего или крупного размера собака, черная либо двухцветная — темная на большей части тела и более светлая на животе, лапах. Часть генов, связанных с одомашниванием, имела аллели, характерные для волков, что отражает древность и некоторую примитивность породы. При этом секвенированные геномы двух опухолей разошлись менее 500 лет назад. Это может означать, что трансмиссивная венерическая саркома была занесена в Австралию собаками первых европейских поселенцев.

Оказалось также, что древняя собака происходила из небольшой, генетически однородной популяции. Возможно, это сказалось на первых этапах возникновения патогенного клона: поскольку собаки были близкими родственниками, клетки одной особи после заражения другой не уничтожались ее иммунной системой.

### Тасманийские дьяволы

Клетки еще одного вида инфекционного рака — лицевой опухоли тасманийского дьявола (Devil Facial Tumor Disease — DFTD) — молодой патоген в отличие от клеток венерической саркомы собак. Тасманийские дьяволы — самые крупные хищники среди сумчатых млекопитающих, живущие на о.Тасмания. В 1996 г. на северо-западе острова было отмечено начало эпизоотии. Болезнь, проявляющаяся в больших и часто метастазирующих опухолях морды и полости рта, быстро распространяется и угрожает существованию вида.

Довольно быстро выяснилось, что заболевание разносится за счет передачи раковых клеток при укусах (а тасманийские дьяволы достаточно агрессивны) [5]. Некоторые особенности экспрессии генов этих клеток указывают на то, что они происходят из нервного гребня — вероятно, из шванновских клеток, в норме формирующих миелиновые оболочки нервных волокон.

В 2012 г. были секвенированы геномы двух здоровых особей тасманийского дьявола и двух заболевших DFTD из географически отдаленных областей. Анализ филогенетических деревьев, построенных по митохондриальным геномам; отсутствие следов опухолевых клеток в музейных образцах, собранных в 1941—1989 гг.; высокая заразность и бросающиеся в глаза внешние проявления — все эти факторы делают маловероятным возможность того, что болезнь долго существовала незамеченной в популяции тасманийского дьяволов [6]. Подсчет количества различий между двумя опухолевыми геномами и сопоставление их с геномами нормальных клеток позволили оценить скорость накопления мутаций и давление естественного отбора, а также показали, что прочитанные раковые геномы разошлись вскоре после появления предковой опухолевой клетки. При этом в обоих раковых геномах присутствует один и тот же набор предпочитаемых типов замен (какой нуклеотид каким заменяется чаще всего), что свидетельствует о каком-то молекулярном дефекте в механизме репликации или репарации у общего предка. Дополнительное генотипирование еще 69 больных животных позволило предположить не только время, но и место появления предкового клона на п-ове Форестье, а также подтвердило происходящее сейчас быстрое распространение одного из генетических вариантов опухоли.

Одно из предположений о том, как клетки лицевой опухоли избегают реакции со стороны иммунной системы нового хозяина, было основа-



Тасманийский дьявол (*Sarcophilus harrisii*).

но на относительно малом генетическом разнообразии тасманийских дьяволов. У нескольких заболевших особей обнаружили два генетически различных типа клеток — т.е. эти животные как минимум дважды заразились патогенными клетками. Оказалось, однако, что у здоровых тасманийских дьяволов развивается нормальная реакция отторжения при пересадке ткани от другой особи. В дальнейшем выяснилось, что клетки лицевой опухоли не экспрессируют гены главного комплекса гистосовместимости и, видимо, таким образом избегают атаки иммунной системы [7].

Стратегия спасения вида понятна, хотя и печальна: нужно изолировать достаточное для сохранения генетического разнообразия количество особей тасманийского дьявола и повторно заселить ареал после вымирания диких животных — носителей и жертв болезни. Современные ученые имеют уникальную возможность наблюдать взрывную эпидемию инфекционного рака, и их первоочередная задача — собрать как можно большее число образцов для дальнейшего изучения.

## Двустворчатые моллюски

Впрочем, уникальна ли эпизоотия лицевой опухоли тасманийского дьявола? Оказывается, аналогичная быстро распространяющаяся болезнь поражает двустворчатых моллюсков на Атлантическом побережье Северной Америки. Впервые развитие заболевания заметили в 1970-х годах у съедобных моллюсков *Mya arenaria* [8]. Оно выражается в неконтролируемом делении клеток иммунной системы и напоминает лимфому.

В раковых клетках обнаружили высокую экспрессию гена обратной транскриптазы, характерного для вирусов и подвижных элементов генома. Источником этой повышенной экспрессии оказался новый ретротранспозон (мобильный элемент генома, распространяющийся в нем через промежуточную стадию молекулы РНК) — *Steamer*. Естественно, предположили, что причина рака — вызванная ретротранспозоном геномная нестабильность [9]. Однако более подробный анализ показал, что у раковых клеток разных особей места внедрения ретротранспозона в геном совпадают и при этом отличаются от позиций *Steamer* в геномах хозяев [10]. Тем не менее множество копий ретротранспозона в геноме раковых клеток (150—300 штук в отличие от 2—10 в нормальных клетках) и тот факт, что большинство мест интеграции совпадает у разных экземпляров опухоли, позволяют предположить, что *Steamer* сыграл роль в первичной трансформации клеток.

Похожие опухоли были замечены и у других двустворчатых моллюсков: мидий, устриц, гребешков [11]. Интересно, что у тихоокеанских мидий (*Mytilus trossulus*) раковые клетки разных особей имеют одинаковый набор полиморфизмов.



Двустворчатый моллюск *Mya arenaria*. Представителей этого вида охватила эпидемия инфекционной лимфомы.

Это также может быть свидетельством общности происхождения опухолей и, стало быть, инфекционного пути возникновения рака [12]. У беспозвоночных нет главного комплекса гистосовместимости — основного защитника от внедрения чужеродных клеток — и потому нет возможности препятствовать экспансии инфекционных опухолевых клонов. Будем надеяться, что понимание механизма распространения инфекционного рака моллюсков поможет найти новые примеры среди других беспозвоночных.

## Человек

Человек может заразиться раком при трансплантации органов, если в пересаженных тканях был незамеченный опухолевый клон [13]. Известен также случай, когда хирург, повредивший руку при операции, заразился саркомой [14]. Но, пожалуй, самая удивительная (и, увы, трагичная) история произошла с сорокалетним мужчиной из Колумбии, больным синдромом приобретенного иммунодефицита [15].

При первичном обследовании оказалось, что он заражен карликовым цепнем (*Hymenolepis nana*), но главным, разумеется, было не это, а многочисленные неоплазии в легких и в лимфатических узлах. Новообразования состояли из атипичных клеток малого размера, хотя некоторые были крупными и содержали множественные ненормальные ядра с большим количеством ядрышек.

Как пишут авторы публикации, этот случай был диагностическим кошмаром. С одной стороны, клинически опухоль вела себя как раковая — захватывала соседние ткани, клетки были одинаковыми и выглядели, как стволовые (высокое соотношение объемов ядра и цитоплазмы). С другой — маленький размер клеток указывал на инфекцию, вызванную неизвестным, возможно, одноклеточным эукариотическим патогеном. Клетки с множественными ядрами напоминали клетки

слизевиков. Вероятность глистной инвазии рассматривалась, но была отклонена из-за примитивного, недифференцированного вида клеток и полного отсутствия цитологических признаков, характерных для паразитирующих червей.

Точный диагноз поставили лишь за 72 ч до смерти, когда из-за отказа почек состояние пациента было уже настолько плохим, что не было смысла применять специфическое лечение. Секвенирование генома клеток опухоли показало, что их источником был тот самый карликовый цепень, причем раковые клетки претерпели множественные геномные перестройки, как часто бывает и при обычных типах рака. Известно, что у пациентов с подавленной иммунной системой развитие ленточного червя часто идет по ненормальному пути — с образованием гигантских, плохо сформировавшихся организмов. По всей видимости, нормальное развитие требует взаимодействия с иммунной системой хозяина. Однако известны случаи неоплазий и у свободно живущих плоских червей. Таким образом, похоже, нет ничего исключительного в раке, вызванном перерождением клеток паразита.

## Клетки HeLa

Болезнь Генриетты Лакс (Henrietta Lacks), родившейся в 1920 г., а умершей в возрасте 31 года от рака шейки матки, который дал многочисленные метастазы, диагностировали незадолго до смерти женщины. Поставленный диагноз «эпидермоидная карцинома» оказался неверным — на самом деле это была аденокарцинома шейки матки. Впрочем, эта частая в то время ошибка все равно не повлияла бы на лечение — радиотерапию с использованием источника излучения, вшиваемого внутрь тела. Образец опухолевой ткани, полученный во время операции, попал в распоряжение доктора Джорджа Отто Гая (George Otto Gey). Он обнаружил, что клетки образца способны неограниченно делиться. Так была создана «бессмертная» линия клеток



Клетки линии HeLa.

человека HeLa (названная по имени носительницы опухоли), которая по сей день используется в тысячах биологических опытов и с помощью которой в промышленных масштабах производили вакцину от полиомиелита, после того как ее разработал вирусолог Джонас Солк (Jonas Salk).

Однако жизнеспособность клеток HeLa имеет и плохие последствия. Уже в 1960-х годах обнаружилось, что многие лабораторные клеточные линии заражены HeLa; по состоянию на сегодня — 10–20% [16, 17]. Таким образом, линия HeLa ведет себя почти как патоген, только ее хозяин — не организм, а клетки, культивируемые в лабораториях.

В марте 2013 г. геном одной из сублиний клеток HeLa был опубликован, однако по просьбе родственников Г.Лакс доступ к нему закрыли [18]. В августе того же года было достигнуто соглашение, согласно которому исследования, использующие геном клеток HeLa, должны проводиться исключительно в медицинских целях, а результаты следует помещать в единую базу данных [19]. Доступ к ней регулируется специальным комитетом, состоящим из биологов, специалистов по биоэтике и членов семьи Г.Лакс. Одновременно была опубликована вторая версия генома клеток HeLa и данные о перестройках в еще нескольких сублиниях [20]. Причиной трансформации, которая привела к роковой болезни знаменитой пациентки, стала интеграция вируса папилломы 18-го типа, вызвавшая активацию протоонкогена *MYC*.

Итак, похоже, что раковые клоны иногда ведут себя как самостоятельные одноклеточные патогенные организмы. Они преодолевают иммунологические барьеры при их ослаблении или в ситуации малого антигенного разнообразия у хозяев. Естественно предположить, что известные примеры вовсе не исчерпывают имеющегося многообразия инфекционных типов рака. Приблизительно понятно, где искать новые — в относительно больших, но генетически однородных популяциях. Существование таких видов рака указывает на одну из возможных причин появления генов тканевой несовместимости (которые сейчас так мешают при пересадке органов) — эволюционное преимущество, которое они давали, могло состоять как раз в защите от инфекционных опухолевых клонов.

\* \* \*

Во время подготовки данной статьи к печати, буквально в последние дни 2015 г., вышла публикация о втором клоне лицевой опухоли тасманийского дьявола — DFT2 [21]. Вызываемые этим клоном опухоли внешне неотличимы от тех, причина появления которых — первый описанный клон DFT1. Внешне, но не гистологически или цитогенетически! В частности, клон DFT2 имеет Y-хромосому, а значит, его родоначальником был самец, в то время как клетки DFT1 происходят от самки. Имеются также различия в длинах микросателлитов (коротких tandemных повторов ДНК)

и в аллелях главного комплекса гистосовместимости. Вероятно, скоро выйдет статья про геном DFT2, которая, будем надеяться, позволит построить гипотезы о механизмах возникновения этих клонов. Хотя авторы предполагают, что тасманийские дьяволы по каким-то причинам особо склонны к порождению опухолевых клонов, сложно объяснить, почему тогда этот вид до сих пор не вымер, учитывая ураганный характер нынешней эпидемии. В качестве совсем уж дикой гипотезы можно предположить, что клон DFT2 все же происходит от клеток DFT1, испытавших (частичную?) гибридизацию

с клеткой зараженной особи. В самом деле, история трансмиссивной венерической саркомы собак включает горизонтальный перенос митохондриального генома от хозяина к опухоли [22]. Нечто подобное могло произойти и в случае с лицевой опухолью тасманийского дьявола. Это будет ясно после определения геномной последовательности DFT2, пока же никаких общих специфических маркеров у двух клонов не найдено. Правда, если гибридизация привела к полной замене генетического материала, не очень понятно, как ее детектировать существующими сегодня методами. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 14-24-00155).**

## Литература

1. *Brindley P.J., da Costa J.M., Sripa B.* Why does infection with some helminths cause cancer? // *Trends Cancer*. 2015. V.1. P.174–182. doi:10.1016/j.trecan.2015.08.011
2. *Blaine D.P.* A domestic treatise on the diseases of horses and dogs. L., 1803.
3. *Novinski M.A.* Zur frage uber die impfung der krebsigen geschwulste // *Zentr. Med. Wiss.* 1876. V.14. P.790–791.
4. *Murchison E.P., Wedge D.C., Alexandrov L.B. et al.* Transmissible dog cancer genome reveals the origin and history of an ancient cell lineage // *Science*. 2014. V.343. P.437–440. doi:10.1126/science.1247167
5. *Pearse A.M., Swift K.* Allograft theory: transmission of devil facial-tumour disease // *Nature*. 2006. V.439. P.549. doi:10.1038/439549a
6. *Loh R., Bergfeld J., Hayes D. et al.* The pathology of devil facial tumor disease (DFTD) in Tasmanian Devils (*Sarcophilus harrisi*) // *Vet. Pathol.* 2006. V.43. P.890–895. doi:10.1354/vp.43-6-890
7. *Siddle H.V., Kreiss A., Tovar C. et al.* Reversible epigenetic down-regulation of MHC molecules by devil facial tumour disease illustrates immune escape by a contagious cancer // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2013. V.110. P.5103–5108. doi:10.1073/pnas.1219920110
8. *Brown R.S., Wolke R.E., Saila S.B. et al.* Prevalence of neoplasia in 10 New England populations of the soft-shell clam (*Mya arenaria*) // *Ann. NY Acad. Sci.* 1978. V.298. P.522–534. doi:10.1111/j.1749-6632.1977.tb19287.x
9. *Arriagada G., Metzger M.J., Muttray A.F. et al.* Activation of transcription and retrotransposition of a novel retroelement, *Steamer*, in neoplastic hemocytes of the mollusk *Mya arenaria* // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2014. V.111. P.14175–14180. doi:10.1073/pnas.1409945111
10. *Metzger M.J., Reinisch C., Sherry J. et al.* Horizontal transmission of clonal cancer cells causes leukemia in soft-shell clams // *Cell*. 2015. V.161. P.255–263. doi:10.1016/j.cell.2015.02.042
11. *Carballal M.J., Barber B.J., Iglesias D. et al.* Neoplastic diseases of marine bivalves // *J. Invertebr. Pathol.* 2015. V.131. P.83–106. doi:10.1016/j.jip.2015.06.004
12. *Vassilenko E.I., Muttray A.F., Schulte P.M. et al.* Variations in *p53*-like cDNA sequence are correlated with mussel haemic neoplasia: A potential molecular-level tool for biomonitoring // *Mutat. Res.* 2010. V.701. P.145–152. doi:10.1016/j.mrgentox.2010.06.001
13. *Gandbi M.J., Strong D.M.* Donor derived malignancy following transplantation: a review // *Cell Tissue Bank*. 2007. V.8. P.267–286. doi:10.1007/s10561-007-9036-1
14. *Gärtner H.V., Seidl C., Luckenbach C. et al.* Genetic analysis of a sarcoma accidentally transplanted from a patient to a surgeon // *N. Engl. J. Med.* 1996. V.335. P.1494–1496. doi:10.1056/NEJM199611143352004
15. *Muehlenbachs A., Bhatnagar J., Agudelo C.A. et al.* Malignant transformation of *Hymenolepis nana* in a human host // *N. Engl. J. Med.* 2015. V.373. P.1845–1852. doi:10.1056/NEJMoa1505892
16. *Gartler S.M.* Apparent HeLa cell contamination of human heteroploid cell lines // *Nature*. 1968. V.217. P.750–751.
17. *Masters J.R.* HeLa cells 50 years on: the good, the bad and the ugly // *Nat. Rev. Cancer*. 2002. V.2. P.315–319. doi:10.1038/nrc775
18. *Landry J.J., Pyl P.T., Rausch T. et al.* The genomic and transcriptomic landscape of a HeLa cell line // *G3 (Bethesda)*. 2013. V.3. P.1213–1224. doi:10.1534/g3.113.005777
19. *Callaway E.* Deal done over HeLa cell line // *Nature*. 2013. V.500. P.132–133. doi:10.1038/500132a
20. *Adey A., Burton J.N., Kitzman J.O. et al.* The haplotype-resolved genome and epigenome of the aneuploid HeLa cancer cell line // *Nature*. 2013. V.500. P.207–211. doi:10.1038/nature12064
21. *Pye R.J., Pemberton D., Tovar C. et al.* A second transmissible cancer in Tasmanian devils // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2015. doi:10.1073/pnas.1519691113
22. *Lu X., Kang Y.* Cell fusion as a hidden force in tumor progression // *Cancer Res.* 2009. V.69. P.8536–8539. doi:10.1158/0008-5472.CAN-09-2159

# T-лимфоциты: путешественники и домоседы

С.А.Касацкая

**А**декватная защитная реакция организма на вторжение вирусов, бактерий и других патогенов — уничтожить пораженные клетки, не допустить распространения инфекции и гибели большого числа собственных клеток. Если инфицированная вирусом клетка его заметила, запускаются процессы врожденного иммунитета: аутофагия (утилизация внутренних компонентов клетки с помощью ферментов лизосом) и апоптоз (запрограммированная гибель клеток). Однако патогенных вирусов и бактерий очень много, к тому же они постоянно меняются до неузнаваемости. Чтобы справиться с ними, подключается система адаптивного иммунитета и его главные участники — лимфоциты. Вершиной эволюции адаптивного иммунитета стал цитотоксический T-лимфоцит, или T-киллер. Для распознавания фрагмента вируса (антигена) на зараженной клетке он использует T-клеточный рецептор (T cell receptor, TCR), случайно и независимо собирающийся на каждой T-клетке в вилочковой железе (тимусе). Механизм сборки TCR уникален и присущ только иммунной системе позвоночных животных. Считается, что эти преимущества впервые получили примитивные рыбы около 500 млн лет назад, когда в результате ретровирусной инфекции в их гаметы внедрились гены, кодирующие



*Софья Алексеевна Касацкая, младший научный сотрудник лаборатории геномики адаптивного иммунитета Института биоорганической химии имени академиков М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН. Область научных интересов — T-клеточный иммунитет, нейро- и онкоиммунология. Победитель конкурса «Био/мол/текст» 2015 г. в номинации «Лучшая статья по иммунологии».*

**Ключевые слова:** адаптивный иммунитет, T-лимфоциты, T-клеточный рецептор.  
**Key words:** adaptive immunity, T cells, T cell receptor.

особые белки (рекомбиназы), ответственные за рекомбинацию генов TCR.

Классическая иммунология человека построена на изучении иммунных клеток крови просто потому, что образец крови можно взять у любого пациента и исследовать в норме и в патологии. Именно на клетках крови была выстроена классификация T-лимфоцитов — деление на T-киллеры и T-хелперы, которые проверяют антигенную специфичность T-киллеров, выдают им «лицензию на убийство» и способны управлять всем ходом иммунного ответа через сигнальные растворимые молекулы, цитокины. Позднее из ветви T-хелперов была выделена группа регуляторных T-клеток, подавляющих избыточный адаптивный иммунитет.

Но, как нам напоминает реклама йогурта, значительная часть клеток иммунной системы сосредоточена вокруг слизистой оболочки пищеварительного тракта и в других тканях. В то время как в 5–6 л крови взрослого человека находится около 6–15 млрд T-лимфоцитов, в эпидермисе и коже — 20 млрд T-клеток [1], в печени — еще 4 млрд [2]. Достаточно ли изучения образцов крови для полного описания функций T-клеток, если в периферических органах T-клеток больше, чем в кровотоке? И достаточно ли классических субпопуляций, чтобы описать все типы T-клеток, находящихся в организме человека?

## Жизненный цикл Т-лимфоцита

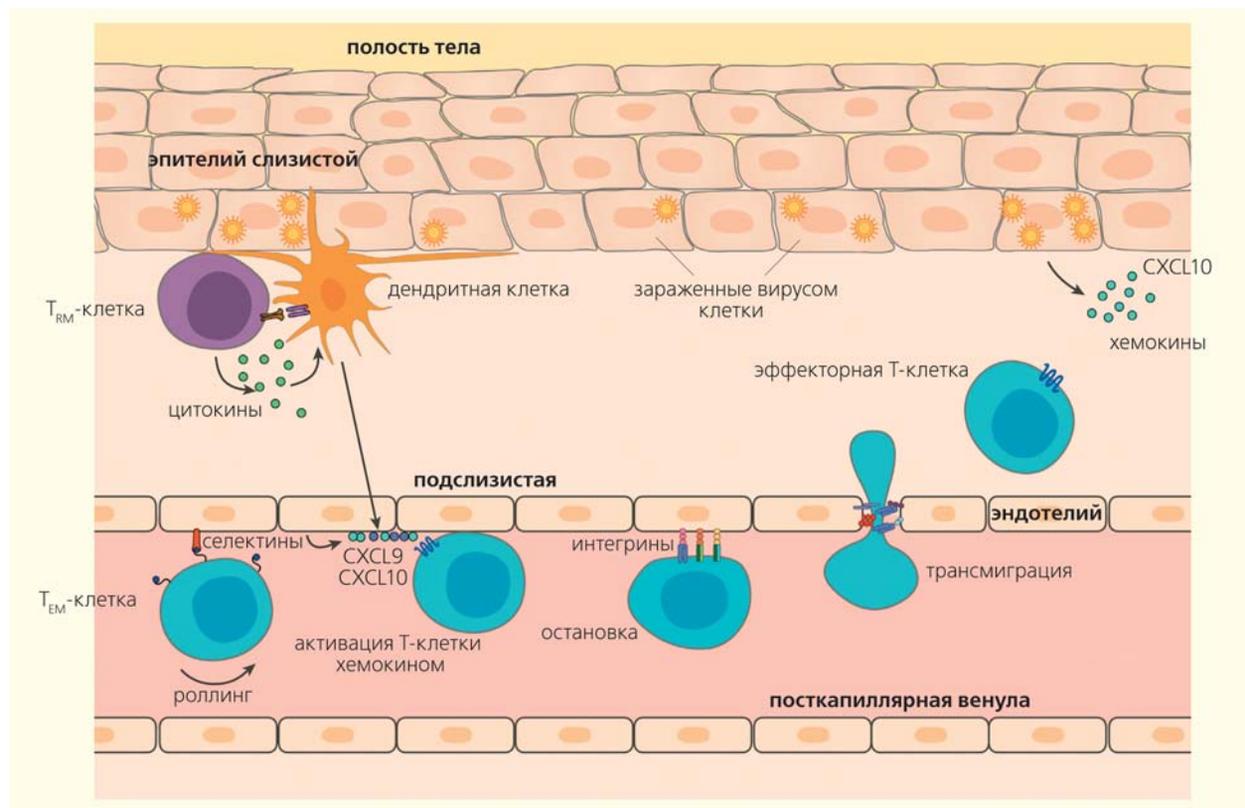
Каждая Т-клетка после сборки TCR проходит тестирование на функциональность случайно собранного рецептора (положительная селекция) и на отсутствие специфичности к собственным антигенам организма, т.е. на отсутствие очевидной аутоиммунной угрозы (отрицательная селекция). Этапы селекции происходят в вилочковой железе; при этом более 90% клеток-предшественников погибает, не сумев правильно собрать рецептор либо пройти селективный отбор. Выжившие Т-клетки пролиферируют и выходят из тимуса в кровоток — это наивные Т-лимфоциты, еще не встречавшиеся с антигеном. Наивная Т-клетка циркулирует в крови и периодически заходит в лимфоузлы, где в Т-клеточной зоне контактирует со специализированными клетками, которые представляют ей чужеродный антиген.

После встречи с антигеном в лимфоузле Т-клетка приобретает способность снова делиться — становится предшественницей Т-клеток памяти (Stem Cell Memory T cells,  $T_{SCM}$ ). Среди ее потомков

появляются клетки центральной памяти (Central Memory T cells,  $T_{CM}$ ) и эффекторныи клетки-предшественники (Effector Memory T cells,  $T_{EM}$ ), которые при делении дают короткоживущие эффекторные клетки, осуществляющие иммунную реакцию ( $T_{EMRA}$ -клетки) [3]. Все эти клетки выходят из лимфоузла и перемещаются по крови. Эффекторные клетки затем могут покинуть кровоток для осуществления иммунной реакции в периферической ткани органа, где находится патоген. Что потом — снова путешествие по крови и лимфоузлам?

Клетки стромы, т.е. основы лимфоузла, выделяют сигнальные вещества (хемокины) для того, чтобы позвать Т-клетку в лимфоузел. Распознают хемокины лимфоузлов рецепторы хоминга CCR7 и CD62L. Но на эффекторных клетках оба рецептора отсутствуют. Из-за этого долгое время было загадкой, как эффекторные клетки могут попасть из периферической ткани обратно во вторичные лимфоидные органы — селезенку и лимфоузлы.

В то же время стали накапливаться данные (о различиях в репертуарах TCR и профилях транскрипции между  $T_{EM}$  в крови и в других тка-



Миграция эффекторной Т-клетки в ткань при вирусной инфекции [3]. Сигналы воспаления от зараженных эпителиальных клеток при участии резидентных клеток передаются эндотелию сосудов, клетки которого привлекают эффекторные Т-клетки хемокинами CXCL9, CXCL10. Роллинг: при движении по посткапиллярной вене в ткани эффекторная клетка замедляется, образуя временные контакты с Е-селектинами и Р-селектинами на клетках эндотелия. Остановка: эффекторная клетка плотно прикрепляется к эндотелию при взаимодействии LFA-1 и других альфа-интегринов с ICAM-1/VCAM-1/MAdCAM-1 (на эндотелии). Трансмиграция: эффекторная Т-клетка связывает эндотелиальный JAM-1 молекулами PECAM, CD99, LFA-1 и проникает через клетки эндотелия в подслизистую.

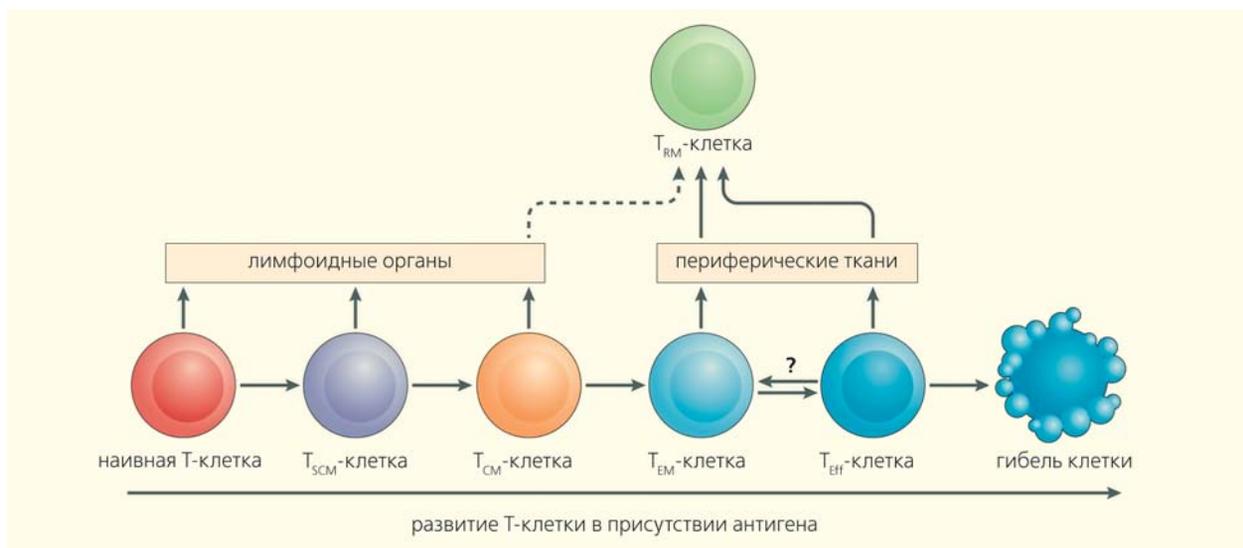


Схема перехода потомков активированных Т-лимфоцитов между популяциями [4]. Пояснения в тексте.

нях), которые никак не укладывались в концепцию постоянной миграции Т-клеток между тканями и кровью. Решено было выделить новую субпопуляцию — резидентные клетки памяти (Resident Memory T cells,  $T_{RM}$ ), которые населяют определенный орган и не рециркулируют [5].

Откуда впервые появляются резидентные клетки ткани? Это потомки эффекторных клеток, которые потеряли способность рециркулировать. Некоторые периферические для иммунной системы ткани, например слизистая тонкого кишечника и брюшная полость, позволяют эффекторным Т-лимфоцитам проникать внутрь свободно, другие — очень ограниченно. Большой поток эффекторных Т-клеток в эти ткани наблюдается только при реакции воспаления. К тканям второ-

го типа относятся головной и спинной мозг, отделенные барьером от иммунной системы, а также многие другие ткани: периферические ганглии, слизистые половых органов и кишечника, легкие, эпидермис, глаза. Разница между двумя типами тканей — в экспрессии дополнительных молекул хоминга для эффекторных Т-клеток, например молекул адгезии MadCAM-1 для проникновения в эпителий [3].

### Резидентные Т-клетки в старении тканей человека

Карта соотношений присутствия отдельных субпопуляций Т-клеток в разных органах человека, как ни странно, была составлена только в 2014 г. Команда Донны Фарбер из медицинского центра Колумбийского университета Нью-Йорка провела сравнение фенотипов Т-клеток, выделенных из крови и тканей доноров органов всех возрастных групп от 3 до 73 лет (всего 56 доноров) [6]. Анализ субпопуляций Т-клеток при помощи проточной цитофлуориметрии подтвердил многие данные, полученные методами с меньшим разрешением и меньшей статистикой, и некоторые черты описания иммунной системы, перенесенные с иммунологии мыши на человека, к примеру снижение содержания наивных Т-лимфоцитов во всех органах при старении организма.

Уменьшение числа наивных Т-клеток с возрастом связано с быстрым старением вилочковой железы, в которой будущие Т-клетки проходят этапы сборки TCR, проверку его работоспособности и селекцию на отсутствие аутоиммунного потенциала. Важно не только снижение абсолютной численности наивных Т-клеток, но и уменьшение разнообразия репертуара Т-клеточных рецепто-

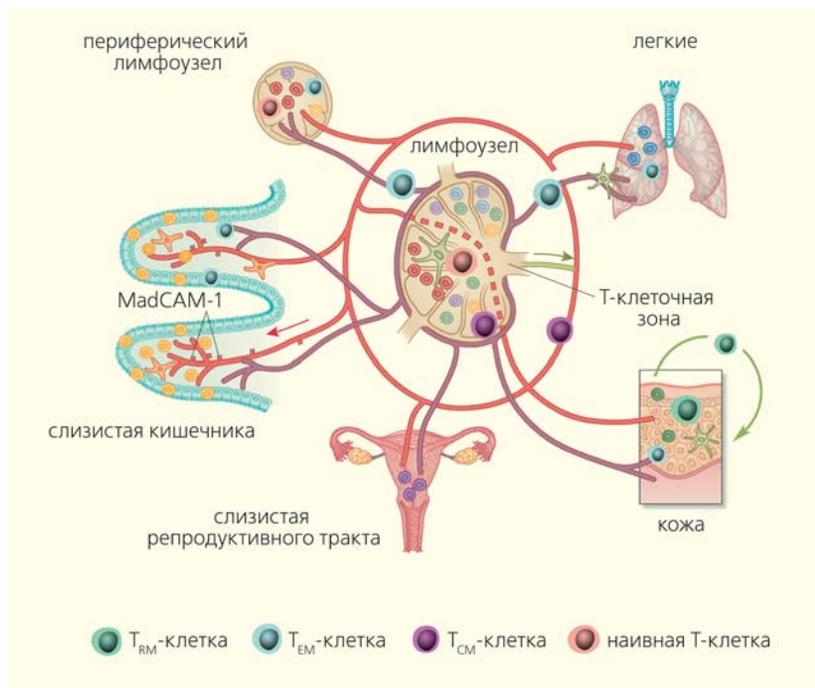


Сложный выбор эффекторной клетки. To home — процесс хоминга, или миграции Т-клеток, например, в наиболее привычное для наивных клеток место — лимфоузел. Альтернатива — не отправляться в путешествие по организму и превратиться в резидентную клетку ткани.

ров, а значит, и возможности сформировать адаптивный иммунный ответ на ранее неизвестную инфекцию [7]. Для наивных Т-киллеров подтвердилось прогрессирующее падение численности в крови и лимфоузлах, хотя для наивных Т-хелперов отрицательная корреляция численности с возрастом в данном исследовании оказалась значительной только для вторичных лимфоидных органов, но не для крови.

Выделение Т-лимфоцитов памяти, эффекторных клеток памяти и короткоживущих эффекторных клеток из слизистых легких, тонкого и толстого кишечника, паховых и мезентериальных лимфоузлов доноров органов позволило впервые оценить динамику данных популяций в тканях человека при старении. Доля центральных клеток памяти ожидаемо растет с течением жизни, в соответствии с ростом числа инфекций, которые успели встретиться организму и попасть в библиотеку памяти иммунной системы. Эффекторные клетки памяти  $T_{EM}$  стремительно заполняют нишу для Т-клеток в тканях ребенка, быстро, примерно к 12 годам, вытесняя наивные Т-клетки. Растет и количество терминально дифференцированных эффекторных Т-киллеров ( $T_{EMRA}$ ), но только в лимфоузлах и в селезенке; в нелимфоидных тканях численность  $T_{EMRA}$  падает. Короткоживущие терминально дифференцированные Т-киллеры чаще всего встречаются в крови, селезенке и слизистых легких в любом возрасте, а вот среди Т-хелперов эта субпопуляция представлена исчезающе малым числом клеток. Аналогично мало центральных клеток памяти среди Т-киллеров, преимущественно они находятся в слизистых двух барьерных тканей: легких и кишечника.

Широкими мазками карту распределения Т-лимфоцитов человека можно обрисовать так: наивные Т-клетки путешествуют по крови и периодически заходят во вторичные лимфоидные органы, киллеры  $T_{EMRA}$  находятся в крови, селезенке и легких. Для центральных клеток памяти, судя по всему, характерно более индивидуальное распределение по тканям, чем для других субпопуляций: во всяком случае, закономерностей динамики при старении разных тканей выявить не удалось. Эффекторные клетки памяти, включающие и  $T_{RM}$ -субпопуляцию, доминируют среди Т-клеток слизистых барьерных тканей. В целом, при старении



Пути циркуляции Т-лимфоцитов различных субпопуляций [8]. Наивные Т-клетки вместе с субпопуляцией  $T_{CM}$  путешествуют по кровеносным сосудам и заходят в Т-клеточную зону различных лимфоузлов, в ткани не выходят, хотя в их капиллярах встречаются (красная траектория). Эффекторные  $T_{EM}$ -клетки перемещаются по лимфо- и кровотоку, могут попасть в лимфоузел, но в Т-клеточную зону не заходят (траектория лилового цвета). Резидентные  $T_{RM}$ -клетки (показаны зеленым в коже и различными цветами в слизистых) перемещаются только внутри ткани (траектория зеленого цвета).

Т-клеточного иммунитета нелимфоидные ткани проявляют большую стабильность субпопуляций, лимфоидные ткани — большую возрастную динамику типов Т-клеток [6]. Стабильность тканевых клеток проще объяснить, если разобраться, какие из эффекторных клеток  $T_{EM}$  остаются в ткани, становятся резидентными  $T_{RM}$  и из каких событий состоит их жизнь после отказа от путешествий по организму.

### Как отличить резидентные клетки тканей от примесей клеток крови?

Резидентные Т-клетки корректно, но неудобно каждый раз определять по способности индивидуальной клетки мигрировать в лимфоузлы, поэтому необходимо составить список характерных признаков, по которым можно выявить принадлежность к этой субпопуляции. Резидентные Т-лимфоциты в тканях — естественных барьерах организма (например в легких и слизистой тонкого кишечника) немного похожи на классические эффекторные клетки крови: экспрессируют маркер активированных клеток CD69, причем экспрессия стабильна в течение жизни при взрослении и ста-

рени и характерна для всех нелимфоидных тканей. Но вдобавок CD69 колокализуется с маркером CD103, который обозначает группу молекул адгезии — интегринов, способствующих прикреплению резидентной Т-клетки к эпителию и к фибробластам в подслизистой выбранного органа. Для эффекторных Т-клеток во вторичных лимфоидных органах экспрессия интегринов CD103 совершенно нехарактерна:  $T_{EM}$ -клетки постоянно сохраняют подвижный фенотип.

У карты, составленной коллективом Донны Фарбер, есть крупный недочет: неясно, насколько чисто удастся выделить Т-лимфоциты из органа, какую долю анализируемых клеток на самом деле составляют Т-лимфоциты крови из капилляров внутри органа.

Особенно остро вопрос загрязнения клетками крови стоит для легких — неслучайно субпопуляционный состав Т-клеток легких неожиданно похож на Т-клетки крови и лимфоузлов. Вопрос загрязнения клетками крови был изящно решен для Т-лимфоцитов мыши: подопытных животных заражали вирусом лимфоцитарного хориоменингита после пересадки трансгенного клона Т-клеток P14, специфичного к данному вирусу. В результате при инфекции большая часть циркулирующих клеток была представлена вирусоспецифичным клоном P14, а его присутствие в тканях можно было выявить с помощью флуоресцирующих антител к TCR P14. Мышам в кровь вводили антитело анти-CD8 к маркеру Т-киллерных клеток, оно быстро распространялось по кровотоку и связывалось со всеми Т-киллерами в крови (но не в тканях). При микроскопии срезов органов легко было отличить резидентные киллерные  $T_{RM}$  от только недавно вышедших из крови в орган клеток, помеченных анти-CD8 антителом [9]. Численность резидентных клеток, подсчитанная этим методом, в 70 раз превышала количество, определенное методом проточной цитометрии; разница меньше чем в два раза наблюдалась только для резидентных клеток лимфоузлов и селезенки. Получается, стандартные методики выделения лимфоцитов из органов плохо подходят для анализа киллерных резидентных клеток и существенно занижают размеры популяции.

### Работа резидентных Т-клеток: не стоит путать туризм с эмиграцией

Мышиные резидентные клетки тканей в нормальной ситуации почти не перемещаются внутри нелимфоидной ткани и достаточно прочно прикреплены молекулами адгезии к строге органа. Когда резидентные макрофаги той же ткани секрецией цитокинов инициируют реакцию воспаления,  $T_{RM}$  приобретают большую подвижность и патрулируют близлежащий эпителий в поисках зараженных клеток.

Если воспалительная реакция усиливается, то клетки понимают это как сигнал о подкреплении: к работе патрульных  $T_{RM}$  подключаются вновь прибывающие из крови  $T_{CM}$ - и  $T_{EM}$ -клетки. Эти клетки крови куда более подвижны и лучше перемещаются в эпителии. Значит ли это, что именно в крови находятся готовые действовать Т-киллеры среди  $T_{EM}$ , а  $CD8^+ T_{RM}$  выполняют в ткани хелперные и регуляторные функции?

С одной стороны, Т-хелперы по спектру Т-клеточных рецепторов более тканеспецифичны, т.е. пересечений между репертуарами TCR клеток, взятых из разных тканей, совсем мало, тогда как клетки одного клона Т-киллера встречаются в разных тканях среди  $T_{EM}$  [6]. Спектр функций и репертуар антигенной специфичности  $T_{RM}$  еще предстоит исследовать, но способности к уничтожению зараженных клеток тканью у  $T_{RM}$ -киллеров точно есть. Более того, в модели мышинной инфекции полиомавирусом, протекающей в ткани головного мозга, аффинность вирусоспецифичных Т-клеточных рецепторов резидентных киллерных клеток выше, чем у вирусоспецифичных клеток центральной памяти [10].

Однако размер популяции Т-клеток зависит не только от специфичности TCR к инфекциям, которые раньше протекали в данном органе, но и от гомеостатической пролиферации Т-клеток — размножения более удачливых клеток для заполнения емкости органа по числу Т-лимфоцитов. По маркерам CD28 и CD127 на поверхности клеток можно отличить недавно и давно активированные через TCR клетки от тех, которые получили только гомеостатический сигнал к пролиферации от фактора роста IL-7. При старении ткани гомеостатическое размножение клеток начинает преобладать над пролиферацией активированных через TCR клеток.

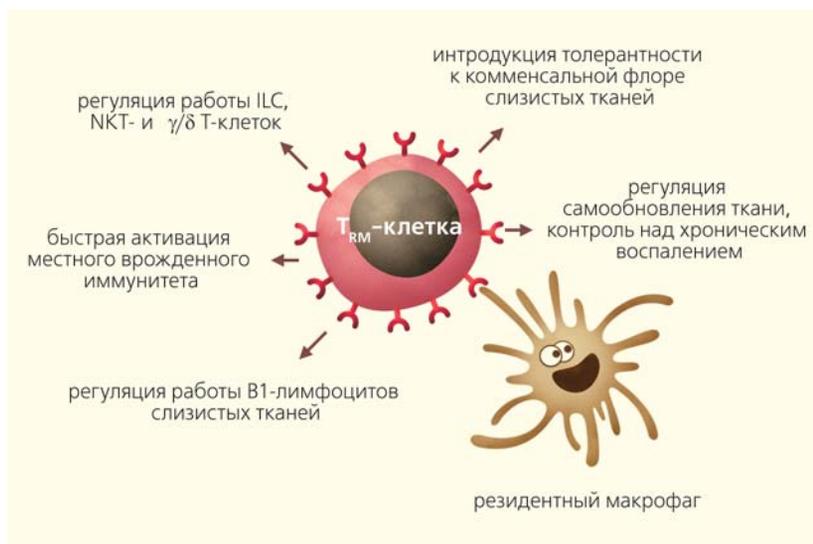
Независимо от Т-клеточных рецепторов часто функционируют НКТ-клетки, тип резидентных клеток печени, встречающихся и в других тканях. Они могут быть активированы НК-клеточными рецепторами через распознавание не индивидуальных антигенов, а общих молекулярных паттернов опасности и тканевого стресса. При активации  $CD8^+$  НКТ-клетки выделяют цитотоксические гранулы и лизируют подозрительные клетки ткани, к примеру единичные опухолевые клетки и зараженные вирусами клетки, экспрессирующие и выставляющие на внешней мембране стрессорные молекулы. При старении тенденция  $T_{RM}$  к активации без Т-клеточного рецептора, через НК-клеточные рецепторы или цитокиновые сигналы, может приводить к ошибочному лизису клеток ткани, недостаточному контролю над хронически зараженными или перерождающимися участками эпителия.

Патологические проявления, связанные с работой резидентных Т-клеток, включают органоспецифичные аутоиммунные синдромы и синдромы хронического воспаления в ткани. Примеры хро-

нического воспаления, поддерживаемого резидентными Т-лимфоцитами, — контактный дерматит и псориаз, а механизм служит выделение воспалительных факторов IL-17 резидентными Т-киллерами и IL-22 резидентными Т-хелперами дермы. CD8+ эффекторные Т-киллеры, находящиеся в головном мозге, похожи по совокупности мембранных молекул-маркеров на T<sub>RM</sub> кожи, кишечника и легких и способны подталкивать развитие перемежающегося рассеянного склероза при периодических выбросах воспалительных цитокинов. Неясно, однако, есть ли в норме в головном мозге популяция T<sub>RM</sub> или же это Т-лимфоциты, оставшиеся в ткани после нейротропной вирусной инфекции [8].

Функции резидентных клеток памяти в норме — при отсутствии инфекции или хронического воспаления — могут включать cross-talk (взаимную регуляцию преимущественно через секрецию цитокинов и костимуляторные молекулы) с неклассическими малоизученными лимфоидными клетками. Ими могут быть ассоциированные со слизистыми  $\gamma/\delta$  Т-клетки, несущие альтернативный вариант сборки Т-клеточного рецептора, или лимфоидные клетки врожденного иммунитета (Innate Lymphoid Cells, ILC), которые делят с Т- и В-лимфоцитами общие черты эпигенетического ландшафта, но не имеют Т-/В- или NK-клеточных рецепторов [11, 12].

T<sub>RM</sub> клетки контактируют с антигенпрезентирующими клетками тканей — дендритными клетками кожи и резидентными макрофагами тканей. Резидентные миелоидные клетки в разных тканях дифференцированы и слабо похожи друг на друга. К примеру, макрофаги маргинальной зоны селезенки, макрофаги печени и микроглия (макрофаги мозга) будут сильно отличаться и по морфологии, и по спектру функций. Кроме обнаружения антигенов в ткани, резидентные макрофаги заняты регуляцией процессов старения и самообновления тканей, в частности, выделяют факторы роста и цитокины, стимулирующие деление стволовых клеток тканей. В жировой ткани, к примеру, макрофаги стимулируют дифференцировку новых жировых клеток, но при переходе в активированное M1-состояние запускают воспаление и вместо дифференцировки заставляют увеличиваться и набухать имеющиеся жировые клетки. Сопутствующие изменения метаболизма жировой ткани приводят к накоплению жировой массы и в последние годы связываются с механизмами развития ожирения и диабета II типа. В коже цитокины, выделяемые макро-



Предполагаемые функции резидентных Т-лимфоцитов тканей. Часть функций может выполняться во взаимодействии с резидентными макрофагами.

фагами и резидентными  $\gamma/\delta$  Т-клетками, стимулируют деление стволовых клеток при регенерации эпидермиса и стволовых клеток волосяных фолликулов [13, 14]. Можно предположить, что хелперные T<sub>RM</sub>-клетки при патрулировании эпителия и образовании контактов с тканевыми макрофагами могут модулировать спектр и объем выделяемых последними факторов роста для стволовых клеток, воспалительных цитокинов и факторов ремоделирования эпителия — и тем самым участвовать в обновлении тканей.

### Что изучение T<sub>RM</sub> может дать медицине?

Понимание принципов работы резидентных Т-клеток абсолютно необходимо для борьбы с инфекциями, которые не поступают сразу в кровь, а проникают в организм через барьерные ткани, т.е. для подавляющего большинства инфекций. Рациональный дизайн вакцин для защиты от этой группы инфекций может быть направлен именно на усиление первого этапа защиты с помощью резидентных клеток. Ситуация, при которой оптимально активированные специфичные к антигену клетки элиминируют патоген в барьерной ткани, куда выгоднее, чем запуск острого воспаления для вызова Т-лимфоцитов из крови, поскольку меньше повреждается ткань.

Репертуар TCR, ассоциированных со слизистыми барьерными тканями, считается частично врожденным и наиболее распространенным, т.е. идентичным для многих людей в популяции. Тем не менее искажения при выделении Т-клеток из органов, перекося данных в результате отбора в когорты только определенных европеоидных доноров и общее небольшое количество накоп-

ленных данных секвенирования не дают уверенности в публичности репертуаров Т-клеточных рецепторов T<sub>RM</sub>-клеток. Впрочем, это было бы удобно: дизайн вакцин мог бы сводиться к поиску и модификации наиболее аффинных и иммуногенных пептидов в патогене, взаимодействующих с одним из распространенных вариантов TCR в барьерной для этого патогена ткани.

Конечно, представления о том, какие TCR несут на своей поверхности T<sub>RM</sub>-клетки, недостаточно для того, чтобы эффективно манипулировать иммунными реакциями в ткани. Предстоит детально изучить факторы, влияющие на заселение тканей определенными клонами Т-клеток, и разобраться в механизмах активации местного тканевого иммунитета и индукции толерантности T<sub>RM</sub>. Как заселяются ниши Т-лимфоцитов в слизистых у ребенка до встречи с большим числом патогенов и, соответственно, до формирования значительного пула эффекторных Т-клеток памяти — предшественников резидентных клеток и клеток центральной памяти? Почему и как вместо классической активации лимфоцитов формируется реакция толерантности к микробам непатогенной флоры слизистых? Эти вопросы стоят на повестке дня в изучении резидентных клеток иммунной системы.

Определение закономерностей хоминга Т-лимфоцитов в определенные ткани может дать преимущество в клеточной иммунотерапии опухолевых заболеваний. Теоретически киллерные Т-клетки нужной специфичности к опухолевому антигену, активированные *in vitro*, должны убивать опухолевые клетки пациента. На практике подобная иммунотерапия осложняется тем, что опухолевые клетки способны подавлять иммунные реакции и приводить в неактивное состояние приближающиеся к опухоли Т-киллеры. Зачастую в массе растущей опухоли и вокруг нее накапливаются анергичные Т-лимфоциты — в первую очередь T<sub>RM</sub> данной ткани. Из множества инъецированных пациенту активных опухоле-специфичных Т-клеток до цели дойдут немногие, и даже они могут оказаться практически бесполезными в иммуносупрессивном микроокружении опухоли.

Расшифровка механизмов, которые обеспечивают попадание конкретных клонов Т-клеток в определенные ткани, может позволить более эффективно направлять к опухоли сконструированные в лаборатории Т-лимфоциты и приблизить эру доступной персонализированной иммунотерапии. ■

## Литература

1. Clark R.A. Skin resident T cells: the ups and downs of on site immunity // J. Invest. Dermatol. 2010. V.130. P.362—370. doi:10.1038/jid.2009.247
2. Doberty D.G., Norris S., Madrigal-Estebas L. et al. The human liver contains multiple populations of NK cells, T cells, and CD3+CD56+ natural T cells with distinct cytotoxic activities and Th1, Th2, and Th0 cytokine secretion patterns // J. Immunol. 1999. V.163. P.2314—2321.
3. Iijima N., Iwasaki A. Tissue instruction for migration and retention of TRM cells // Trends Immunol. 2015. V.36. P.556—564. doi:10.1016/j.it.2015.07.002
4. Farber D., Yudanin N., Restifo N.P. Human memory T cells: generation, compartmentalization and homeostasis // Nat. Rev. Immunol. 2014. V.14. P.24—35. doi:10.1038/nri3567
5. Schenkel J.M., Masopust D. Tissue-resident memory T cells // Immunity. 2014. V.41. P.885—897. doi:10.1016/j.immuni.2014.12.007
6. Thome J.J., Yudanin N., Ohmura Y. et al. Spatial map of human T cell compartmentalization and maintenance over decades of life // Cell. 2014. V.159. P.814—828. doi:10.1016/j.cell.2014.10.026
7. Britanova O.V., Putintseva E.V., Shugay M. et al. Age-related decrease in TCR repertoire diversity measured with deep and normalized sequence profiling // J. Immunol. 2014. V.192. P.2689—2698. doi: 10.4049/jimmunol.1302064
8. Park C.O., Kupper T.S. The emerging role of resident memory T cells in protective immunity and inflammatory disease // Nat. Med. 2015. V.21. P.688—697. doi:10.1038/nm.3883
9. Steinert E.M., Schenkel J.M., Fraser K.A. et al. Quantifying memory CD8 T cells reveals regionalization of immunosurveillance // Cell. 2015. V.161. P.737—749. doi:10.1016/j.cell.2015.03.031
10. Frost E.L., Kersb A.E., Evavold B.D., Lukacher A.E. Cutting edge: resident memory CD8 T cells express high-affinity TCRs // J. Immunol. 2015. V.195. P.3520—3524. doi:10.4049/jimmunol.1501521
11. Diverse functions of mucosal resident memory T cells / Eds K.S.Schluns, K.Klonowski // Frontiers in Immunology [Electronic resource]. N.Y., 2015. doi:10.3389/fimmu.2015.00090
12. Godfrey D.I., Uldrich A.P., McCluskey J. et al. The burgeoning family of unconventional T cells // Nat. Immunol. 2015. V.16. P.1114—1123. doi:10.1038/ni.3298
13. Castellana D., Paus R., Perez-Moreno M. Macrophages contribute to the cyclic activation of adult hair follicle stem cells // PLoS Biol [Electronic resource]. 2014. V.12. e1002002. doi:10.1371/journal.pbio.1002002
14. Rodero M.P., Khosrotehrani K. Skin wound healing modulation by macrophages // Int. J. Clin. Exp. Pathol. 2010. V.3. №7. P.643—653.

# Новый природный феномен в зоне вечной мерзлоты

М.О.Лейбман, А.И.Кизяков

Наша статья посвящена новому мерзлотному явлению, обнаруженному в тундре Центрального Ямала и названному воронкой газового выброса [1]. Но рассмотрение основной темы мы начнем издалека, с общих вопросов динамики тундровых ландшафтов, связанной с существованием зоны вечной мерзлоты — криолитозоны — и ее реакцией на колебания климата.

## Динамика тундровых ландшафтов

Тундровые ландшафты считаются крайне ранимыми, чувствительными к любым нарушениям (как техногенным, так и природным) и медленно восстанавливающимися. Несмотря на кажущуюся однородность тундры, которая представляется сторонним наблюдателем сочетанием болот и кустарников и полным отсутствием леса, тундровые ландшафты весьма неоднородны. И особенно это характерно как раз для Центрального Ямала, отличающегося расчлененным рельефом, разнообразным составом пород и их сложным криогенным строением (формами включений льда в мерзлую породу). Неоднородность внутреннего геологического и криогенного строения приводит к неоднородности почвенного и растительного покровов. Ак-



**Марина Оскаровна Лейбман**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института криосферы Земли СО РАН (г.Тюмень). Область научных интересов — свойства криолитозоны, ее эволюция, криогенные процессы.



**Александр Иванович Кизяков**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Круг научных интересов охватывает рельефообразующие процессы в криолитозоне.

**Ключевые слова:** криолитозона, воронка газового выброса.  
**Key words:** cryolithic zone, gas emission crater.

тивно развивающиеся в естественных и техногенно нарушенных условиях криогенные процессы существенно преобразуют во времени облик тундры, который для разных ландшафтов меняется в разной степени и даже в разном направлении. Например, на фоне преобладания процессов деградации мерзлоты наблюдается также ее новообразование.

На Центральном Ямале близко (и не очень) к поверхности залегают так называемые пластовые льды большой мощности (от нескольких до двух-трех десятков метров) и протяженности (от сотен метров до километров). Весьма распространены также сильнольдистые горные породы, в которых до 80% объема составляет лед (рис.1, 2). Именно высокое содержание льда у поверхности вызывает наибольшие риски в условиях климатического потепления. Таяние подземных льдов приводит к образованию отрицательных форм рельефа. Наблюдается коренное преобразование ландшафта: изменяют-

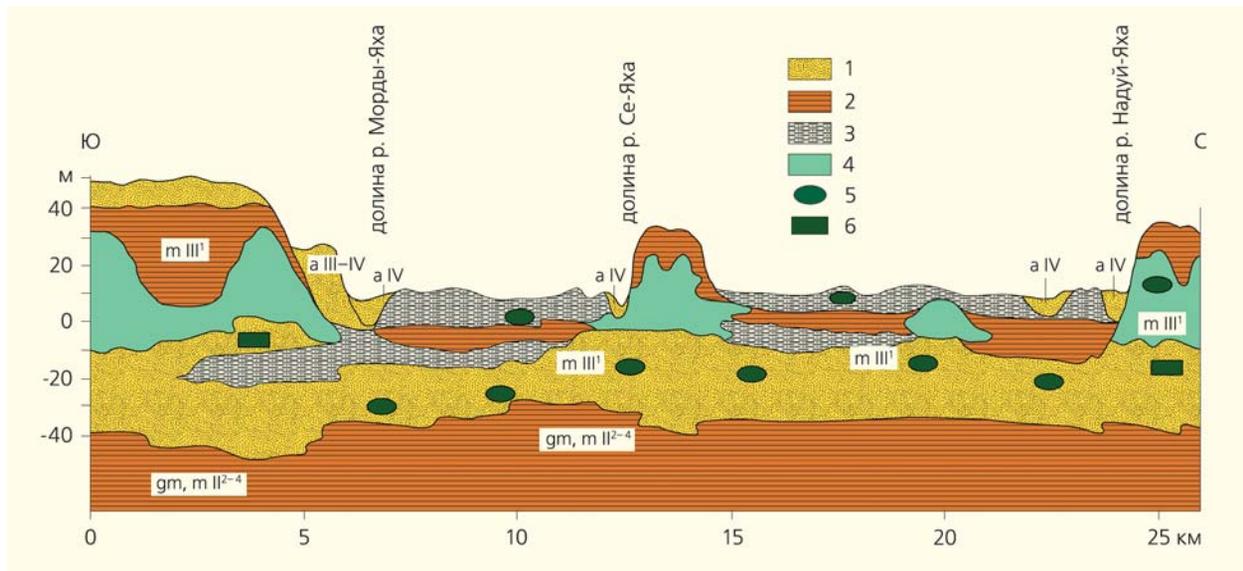


Рис.1. Реальный разрез через Бованенковское месторождение [2]. 1 — песок, 2 — глина, 3 — супесь, 4 — пластовый лед, 5 — криопэги установленные, 6 — криопэги предполагаемые. На схеме приведены генезис и возраст отложений.

ся увлажнение, состав и структура слагающих пород, происходит смена растительных ассоциаций и мерзлотных условий (льдиности, температуры пород и глубины сезонного протаивания).

Если рассматривать только повышение температуры воздуха — ведущий современный фактор, приводящий к изменению тундрового ландшафта,

то необходимо учитывать, что повышение температуры многолетнемерзлых пород (переход ее через 0°C означает деградацию мерзлоты) отстает от повышения температуры воздуха. Такое отставание определяется отсутствием однозначной зависимости между этими параметрами. Снижение мощности снежного покрова

и утолщение почвенного и напочвенного растительного покровов в отдельные годы снижает температуру пород, а в целом уменьшает воздействие потепления климата.

Возможно, еще более важна зависимость глубины сезонного протаивания от динамики климата. Именно увеличение глубины протаивания приводит к вытаиванию подземного льда и формированию принципиально новых ландшафтов. Основное влияние на глубину сезонного протаивания оказывает летняя температура воздуха. Говоря же о потеплении климата, учитывают и зимние температуры, повышение которых зачастую более значительно, чем летних. И, что не менее важно, утолщение органического горизонта (мха, торфа, почвы), вызванное потеплением [4], снижает глубину сезонного протаивания, поскольку увеличивает слой теплоизоляции, ограничивая поступление тепла вглубь пород.

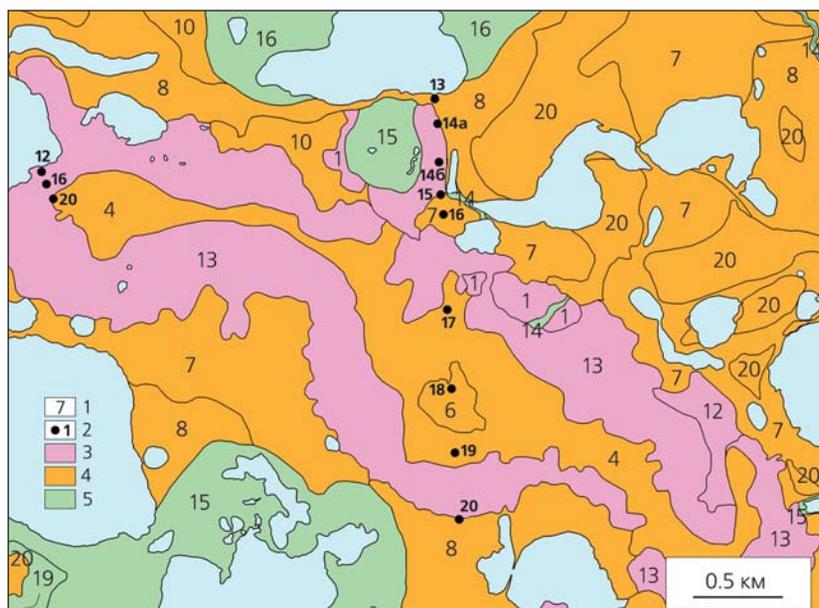


Рис.2. Схема распространения и мощности пластового льда в районе месторождения, построенная на основе анализа карт и аэрофотоснимков и калиброванная по данным бурения [3]. 1 — индексы выделенных природно-территориальных комплексов, 2 — скважины, пробуренные Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрогеологии и инженерной геологии, 3—5 — глубина залегания пластовых льдов: 3 — менее 5 м, 4 — от 5 до 10 м, 5 — более 10 м.

Однако все вышесказанное не умаляет значения криогенных процессов в формировании новых тундровых мерзлотных ландшафтов, а лишь показывает их реальную роль и потенциальную опасность. Почему все же криогенные процессы активизируются в последние годы? Это можно объяснить тем, что на фоне общего повышения температуры пород и малой изменчивости глубины протаивания случаются годы экстремального потепления воздуха, при котором уже наблюдаются и более высокие температуры пород самых верхних горизонтов, и углубление сезонного протаивания, значительно превышающее средние значения. Нарастание бронирующего мерзлоту растительного покрова длится годами и десятилетиями, а тепловые экстремумы наблюдаются раз в несколько лет, и именно они находят слабые места на поверхности, где ландшафты наиболее чувствительны к изменениям.

### Термокарст и термоденудация

Термокарст и термоденудация — процессы, связанные с вытаиванием подземного льда. Первый протекает в бессточных условиях и сопряжен с накоплением воды, образовавшейся при протаивании мерзлых пород и льда, и возникновением озера (рис.3). Второй наблюдается на склонах, когда излишек воды вместе с переувлажненными протаявшими породами стекает вниз по склону, образуя



Рис.3. Формирование термокарстового озера на полигоне Васькины Дачи на Центральном Ямале.

Здесь и далее (кроме особо отмеченных) фото М.О.Лейбман

потоки разжиженных пород — криогенные оползни течения. В результате формируются полузамкнутые вогнутые депрессии — термоцирки (рис.4).

Для обоих процессов необходимо, чтобы лед или сильнольдистые породы оказались в зоне протаивания. Кроме того, для начала термокарста нужно, чтобы происходило многолетнее протаивание, т.е. средняя годовая температура пород должна перейти через  $0^{\circ}\text{C}$ . На Центральном Ямале термокарст в естественных условиях распространен ограниченно, поскольку тренд потепления наложен на низкие температуры пород, характерные для этой территории. Другое дело — термоденудация. Она сопровождается постоянным удалением протаявшего материала и, тем самым, выходом



Рис.4. Термоцирки на полигоне Васькины Дачи. Слева — термоцирк, образовавшийся в 2012 г. при вытаивании пластового подземного льда; справа — с залегающим близко к поверхности пластовым льдом (фото Ю.А.Дворникова).

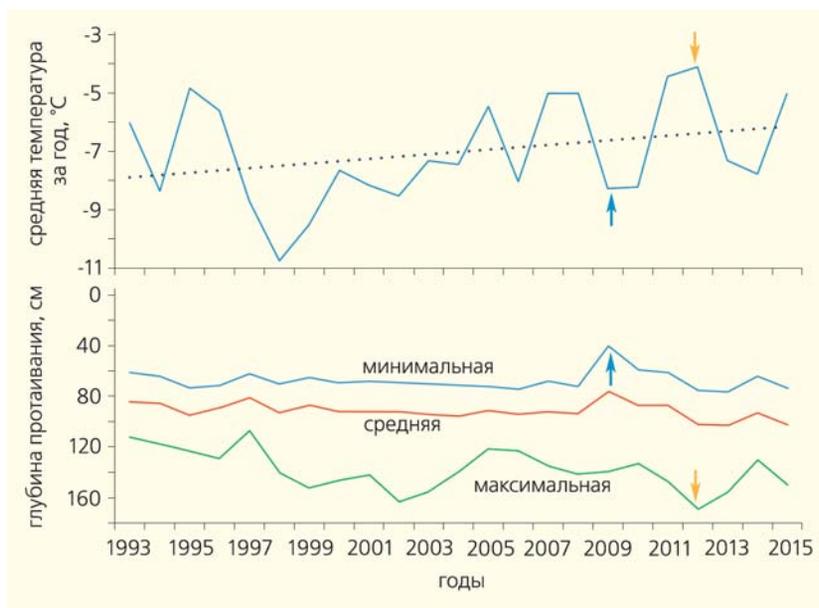


Рис.5. Температура воздуха за 1993—2015 гг. по данным метеостанции Марре-Сале (вверху). Тренд за 23 года составил  $1.8^{\circ}\text{C}$ . Изменение средних, максимальных и минимальных глубин сезонного протаивания за те же годы по данным мониторинга на геокриологическом полигоне Васькины Дачи (внизу). Стрелками показаны выраженные экстремумы, средние значения не имеют четкого тренда.

мерзлых пород и льда на поверхность. Для продолжающейся термоденудации достаточно, чтобы неглубоко залегающие сильнольдистые породы или лед оказались в зоне сезонного протаивания.

Какие же климатические изменения позволяют нам правильно оценить причины активизации криогенных процессов, связанных с вытаиванием подземного льда на Центральном Ямале, особенно в последние годы? Помимо многолетнего повышения температуры пород, которое, по данным метеостанции Марре-Сале, на западном побережье Центрального Ямала за последние 14 лет составило  $2.3^{\circ}\text{C}$ , наблюдался и резкий экстремум повышения температуры в 2012 г. (рис.5). Именно тогда активизировались процессы термоденудации и образовался ряд термоцирков, более характерных для морского побережья. Эти процессы в глубине суши до 2012 г. проявлялись крайне редко. Экстремальные повышения температуры воздуха и глубины сезонного протаивания запустили термоденудацию на Центральном Ямале, для которого характерен сильно расчлененный рельеф. Именно этот процесс стал наиболее ярким откликом тундровых ландшафтов на потепление.

Но, кроме того, еще одно явление возникло как реакция на потепление климата и произошедшее (хотя и с запозданием) повышение температуры пород. Это Ямальская воронка и другие воронки, обнаруженные примерно в то же время в разных районах севера Западной Сибири.

### История изучения Ямальской воронки

Обнаруженная осенью 2013 г. на Центральном Ямале воронка образовалась в результате нового, ранее не наблюдавшегося процесса. Его можно рассматривать как реакцию криолитозоны на изменение ее теплового состояния, приводящее к высвобождению газа (в том числе в форме реликтовых газогидратов) из верхних горизонтов многолетнемерзлых пород через участки с высоким содержанием пластовых подземных льдов.

Ямальская воронка расположена между побережьем Карского моря и долиной р.Морды-Яха, в 17 км к западу от субмеридионального участка долины (рис.6) и к югу от Бованенковского газоконденсатного месторождения. Она находится в биоклиматической зоне тундры, подзоне типичных тундр. Равнинная территория здесь расчленена озерами и ручьями. Невысокие холмы окружены пологими склонами, поросшими кустарником ивы высотой до 1.5 м. Район воронки относится



Рис.6. Ямальская воронка газового выброса. Слева — ее положение на карте, справа сверху — вид с вертолета 16 июля 2014 г. и размеры кратера, внизу — вид с вертолета 31 августа 2015 г.

Фото А.И.Кизякова

к зоне сплошного распространения многолетне-мерзлых пород с их средней годовой температурой до  $-7^{\circ}\text{C}$  и глубиной сезонного протаивания до 1 м. В геологическом разрезе наблюдаются дисперсные породы — от супесей до глин, а также торф. Они содержат значительное количество льда (в частности, мономинеральные прослои толщиной от нескольких метров до более чем 20).

Для изучения воронки были организованы рекогносцировочные исследования. 16 июля 2014 г. провели ее первое обследование, которое длилось несколько часов. Экспедиция состояла из пяти человек — журналистки, оператора, спасателя МЧС, археолога и мерзлотоведа. Из оборудования мы взяли GPS-навигатор, газоанализатор, радиометр, рулетку, веревку и фотовидеоаппаратуру. Была измерена воронка, определено повышенное содержание метана и нормальный радиационный фон [1]. 25 августа состоялась вторая, также несколько часовая рекогносцировка. На этот раз в состав экспедиции вошли еще альпинисты и оператор беспилотника. Мы провели более точные определения размеров воронки. Оказалось, что ее глубина уменьшилась, а на дне накопилась вода, и сформировалось довольно глубокое озеро. Диаметр воронки увеличился за счет интенсивного протаивания и обрушения стенок [5]. В начале октября несколько дней силами специалистов Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН проводились геофизические исследования. Было установлено распределение геофизических полей, интерпретация которых позволила судить о конфигурации пород вокруг воронки, свойствах ее дна, толщины слоя воды и прослоев льда [6]. 8–9 ноября с применением альпинистского оборудования исследовали саму воронку. Ее стенки замерзли, прекратилось таяние и обвал верхнего козырька. Благодаря этому удалось забраться внутрь и провести детальные измерения, геофизические исследования, отобрать образцы. Зимой 2014–2015 гг. обрабатывались космические снимки, по которым определялась примерная дата формирования воронки [7, 8]. В начале осени 2015 г. продолжили работы внутри и вокруг воронки. Проводили новые определения ее размеров и детальные геофизические исследования\*, отбирали пробы льда, вмещающих пород и воды внутри и вблизи кратера.

Результаты наших обследований можно представить следую-



Рис.7. Видосъемка дна воронки 16 июля 2014 г., вид сверху (стоп-кадр). В левой части снимка просматривается озеро на дне воронки, в правой — неровность в стенке. Съемка ОГТРК «Ямал-Регион».

щим образом. На начало изучения Ямальская воронка представляла собой кратер с почти вертикальными стенками и глубиной, намного превышающей диаметр. В стенках обнажались мерзлые породы с прослоями льда. Верхняя часть разреза представлена сильнольдистыми мерзлыми породами и льдом. В первую рекогносцировку нижнюю часть разреза можно было наблюдать только с помощью видео- и фотосъемки (рис.7). Там преобладали глины со значительными включениями льда.

Воронка в диаметре не превышала 30 м в верхней части и 25 м в основном стволе. Кратер был окружен бруствером (рис.8) — неравномерно наваленными холмиками, состоящими из глины, суглинки, супеси и торфа с включениями обломков коренных пород и ожелезнением по трещи-



Рис.8. Бруствер, представляющий собой неравномерные вывалы пород: холмики глины, суглинки, супеси, торфа и пластов дернины.

\* [siberiantimes.com/science/casestudy/news/n0415-danger-of-methane-explosions-on-yamal-peninsula-scientists-warn](http://siberiantimes.com/science/casestudy/news/n0415-danger-of-methane-explosions-on-yamal-peninsula-scientists-warn)



Рис.9. Стенки кратера. Слева — снимок от 16 июля 2014 г. Видны слоистые отложения. Справа — снимок от 25 августа. Слои ориентированы субвертикально, а макрольдистость (объемное содержание видимого льда) превышает 50%.

нам (следами вытаявания прослоев льда). Все это свидетельствовало об образовании воронки при выбросе пород из недр на поверхность, а не в результате термокарста (проседания) или провала булгуньяха — бугра пучения с ледяным ядром.

Поскольку на дне воронки скапливается вода, можно полагать, что она не имеет выхода в глубинные слои, а потому предположение о ее возникновении в результате выброса газа с больших глубин маловероятно. Следов деятельности человека в окрестностях кратера также не найдено. Это феномен чисто природного происхождения. Отсутствие следов воздействия высокой температуры и давления отвергает и его импактное происхождение.

Верхняя наклонная часть воронки сложена выскользистой толщей, представленной субверти-

кальными прослоями льда и суглинка (рис.9). Ниже перегиба, в вертикальных и местами нависающих стенках цилиндрической нижней части, вскрывается залежь льда с редкими вертикальными прослоями включений алевритового состава (рис.10). В июле 2014 г. на стенках наблюдались сколы и проломы (рис.11), которые к августу загладились при оттаивании и обвале пород козырька, нависающего над воронкой. Стенки кратера неоднородны, в их нижней части располагается «грот». Хорошо видна зона ячеистого строения, отделенная от остальной части разреза трещиной со смещением и глиной трения (рис.12).

Верхняя часть воронки, непосредственно освещенная солнцем, расширяется с большей скоростью, при этом увеличивается ее наклон. Нижняя же часть, располагающаяся за уступом, почти все



Рис.10. Крупный план стенки воронки. В вогнутых ячейках прослеживаются вертикальная слоистость и прослои льда.



Рис.11. Трещины и сколы в верхней части воронки по состоянию на 16 июля 2014 г.

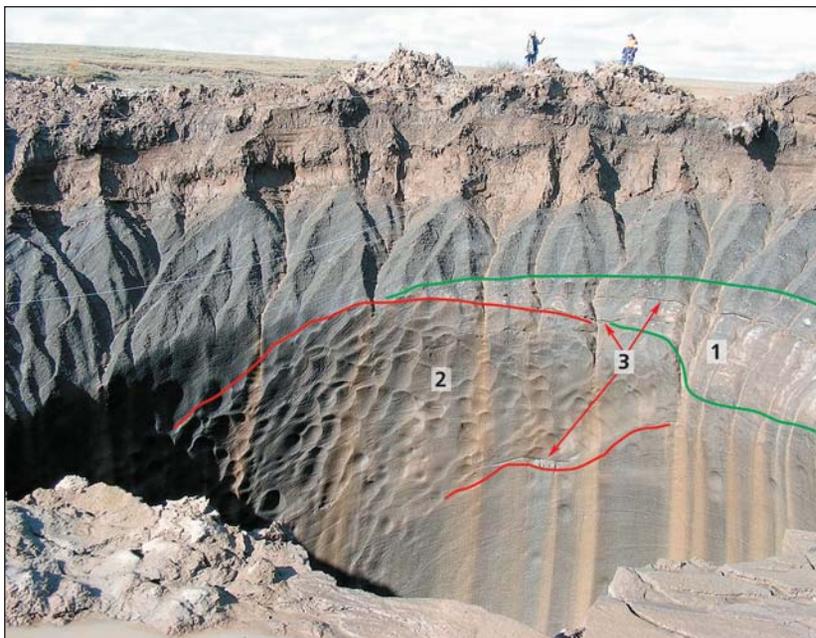


Рис.12. Стенка воронки с прослоем пузырчатого льда белого цвета (1) и ячеистой зоной (2), отделенной от гладкой поверхности трещинами (3).



Рис.13. Воронка постепенно заполняется снегом.  
Фото А.И.Кизякова

время находится в тени и в условиях застоя холодного воздуха. Отступление стенок здесь главным образом определяется размывом струями воды, которые поступают сверху. Дно довольно быстро заполняется водой.

Опыт зимних работ на Центральном Ямале показывает, что за зиму 2014–2015 гг. воронка могла полностью заполниться снегом за счет его переноса метелями (рис.13). Отрыв и падение блоков пород с бровки воронки, таяние мерзлоты и накопление летних и зимних атмосферных осадков должно привести к быстрому (полтора–два года) заполнению воронки и превращению ее в озеро. На конец лета 2014 г. уровень воды внутри воронки находился на глубине около 25 м, а на конец лета 2015 г. — уже в 6–8 м от бровки. Скорость заполнения кратера, с одной стороны, определяется соотношением выпадающих атмосферных осадков и заполнения воронки перевеваемым снегом, а с другой — соотношением объема льда, который вытаскивает из стенок, и скорости их отступления (расширения воронки).

### Применение дистанционных методов

Когда же возникла Ямальская воронка? Дату ее образования можно определить с помощью анализа космических снимков. Полевые наблюдения в июле 2014 г. позволили предположить, что воронка сформировалась не ранее осени 2013 г. Это следует из характера растительности в зоне выброса (свежие листья ивы пробивались через комья супеси, покрывавшей ветви), а также из состояния пород бруствера (остроугольные «обломки» суглинка и глины не размывы дождями) и стенок воронки (заколы и трещины, не сглаженные потоками, и козырек из дернины, еще нависавший над отверстием). Подобные особенности дают основание сузить временной диапазон образования воронки до осенне-зимнего периода 2013–2014 гг. На космических снимках до 9 октября 2013 г. на месте нынешнего кратера находился бугор. Первый доступный снимок, на котором здесь появилось отверстие, получен 1 ноября 2013 г. Таким образом, по космическим снимкам установлено, что воронка возникла в интервале времени с 9 октября по 1 ноября 2013 г. [7].

По материалам высокодетальной (с разрешением 2.5 м) и сверхвысокодетальной (0.5 м) кос-

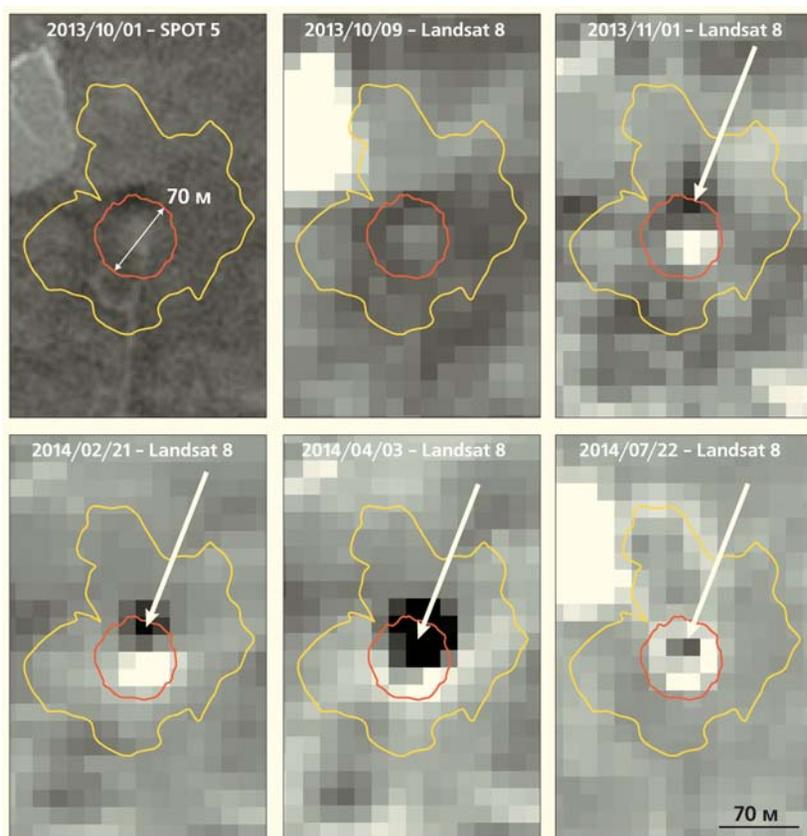


Рис.14. Последовательность космических снимков участка воронки до и после (показано стрелкой) ее образования начиная с 01.11.2013 г. Красной линией оконтурен бруствер, желтой — зона обнаружения выброшенного из воронки материала (по разным данным, от 120 до 160 м). Составил Кизяков [7].

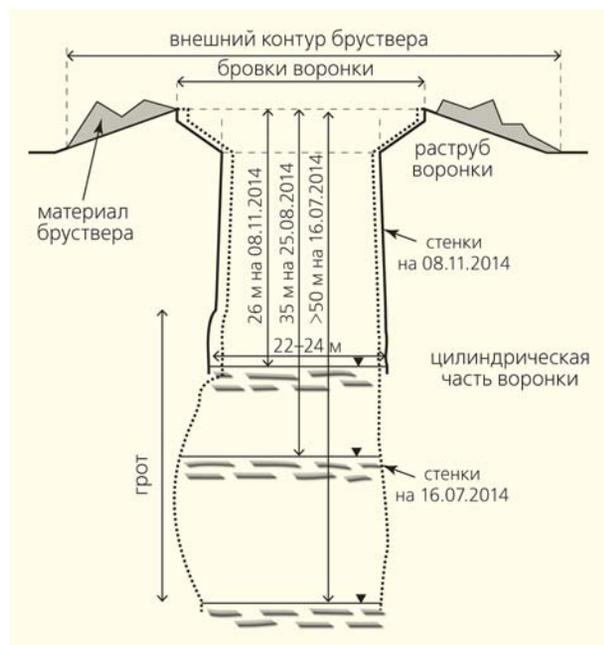


Рис.15. Принципиальная схема развития воронки на разные даты наблюдений. Составил Кизяков [7].

мических съемок надежно дешифрируются формы рельефа на ключевом участке до и после образования воронки. Использовались космические снимки середины июня 2013 и 2014 гг., полученные в безоблачную погоду (рис.14). В оба сезона пониженные элементы рельефа и подножия склонов были покрыты нарастающим снегом, а в озерах сохранялся ледовый покров.

По цифровой модели, построенной по стереопаре снимков WorldView-1 от 09 июня 2013 г., удалось восстановить состояние исследуемого участка до образования воронки. В июле 2013 г. здесь существовал бугор (положительная форма рельефа) диаметром в основании 45–58 м и относительной высотой 5–6 м. Его вершина была покрыта кочками с травянистой растительностью, а у подножия росли кусты ивы. В 2014 г. (как по данным дешифрирования снимков WorldView-1 от 15 июня, так и по результатам полевого

обследования 16 июля) диаметр бруствера образовавшейся воронки (по внешней границе выброшенного материала вокруг раструба) составлял 70–72 м (рис.15). В результате сопоставления цифровых моделей рельефа 2013 и 2014 гг. рассчитаны объем вынесенного материала (частично снесенного бугра и пород, выброшенных из воронки), который составил 11 200 м<sup>3</sup>, и объем материала, отложившегося по периферии в виде бруствера, — 1940 м<sup>3</sup>. Последний почти в шесть раз меньше объема образовавшейся формы. Получившаяся разница (9260 м<sup>3</sup>) представляет собой объем льда, выброшенного из воронки на поверхность и растаившего весной—летом 2014 г. [8].

Как же изменялись со временем размеры Ямальской воронки? Первоначальный диаметр, определенный при анализе стереопары космических снимков, равнялся 15–16 м в основном стволе и 29–30 м по бровке [7]. Через год, 16 июля 2014 г., он уже составлял 20–25 м и около 30 м соответственно, 25 августа — 25 и 37 м, в октябре — 28 м и 40 м [6]. В сентябре 2015 г. (когда стенки воронки в верхней части стали практически вертикальными) ширина по бровке составила 50–55 м. Глубину до зеркала воды на снимках интерпретировать не удалось из-за полной затененности. Измерения размеченной веревкой 16 июля 2014 г. показали величину более 50 м. Прямые инстру-

ментальные измерения в августе и октябре 2014 г. определили глубину воронки в 35 и 25 м соответственно [5, 6].

Исследования в начале сентября 2015 г. свидетельствовали о существенных изменениях размеров воронки, которая расширилась, приобретя цилиндрическую форму с почти вертикальными невысокими стенками. Внизу, на глубине 2–3,5 м, наблюдался пластовый лед (рис.16).

### Гипотеза образования воронки газового выброса

Материалы рекогносцировочных работ легли в основу максимально непротиворечивой гипотезы образования Ямальской воронки. Известно, что верхние 130 м разреза на Ямале загазованы [9, 10]. Как правило, повышенная газация связана с разрезами, содержащими пластовые подземные льды и криопэги (линзы соленых подземных вод с отрицательной температурой) [2]. Мы предполагаем, что повышение температуры воздуха и пород в течение последнего десятилетия (особенно положительный экстремум лета 2012 г.) привело к высвобождению газа (в основном метана) из мерзлых пород и подземного льда, в том числе и из газогидратных скоплений. Этот процесс сопровождался резким повышением порового давления. Такой ме-



Рис.16. Состояние воронки на начало сентября 2015 г. На глубине около 3 м залегают пластовый лед.



Рис.17. Глубокое круглое озеро на Центральном Ямале. Фото с вертолета.

ханизм описан в субаквальных условиях и приводит к образованию покмарков\* [11].

Для Ямала вообще и для района воронки в частности весьма характерны круглые озера, переуглубленные в центре. Считалось, что эти озера имеют термокарстовый генезис и связаны с вытравливанием мощных пластов подземного льда. Поскольку обрушение стенок воронки в верхней части привело к расширению отверстия, уменьшению его глубины и в конечном счете к возникновению озера, возможно, и другие озера Ямала, образовавшиеся в термический оптимум голоцена, которые ранее считались термокарстовыми, на самом деле представляют собой следствие процесса газового выброса. Этим объясняется специфическое строение дна таких озер: глубокая центральная часть и мелкий шельф, хорошо различимые на космических снимках и фотографиях, сделанных с вертолета (рис.17).

\* \* \*

Итак, на наш взгляд, особую роль в формировании воронки газового выброса сыграл не только тренд повышения температуры пород, но и экстремум 2012 г. Скорее всего, этот экстремум не последний и образование подобных воронок может происходить в будущем при подходящих геологи-

ческих и мерзлотных условиях (наличии газонасыщенной мерзлой толщи, пластовых льдов и экстремумов климатических колебаний) и на других территориях. Это явление, тем самым, должно рассматриваться как геологический риск.

Дистанционные материалы и полевые наблюдения говорят о возникновении воронки на вершине бугра специфической формы на периферии частично спущенного озера. Обнаружение подобных бугров может считаться наиболее вероятным признаком образования воронок, и районы их встречаемости должны стать объектами первоочередного исследования.

В связи с широким распространением подземного пластового льда и газосодержащих пород как условий образования новых форм в криогенном рельефе, воронки газового выброса будут возникать на соответствующих участках тундрового ландшафта. При исследованиях, которые должны проводиться на высоком научном уровне, с применением новых современных методов, формирование таких воронок можно будет предсказать и закартировать.

Полевые обследования воронки газового выброса на Центральном Ямале были организованы по поручению губернатора ЯНАО Д.Н.Кобылкина, НП «Российский центр освоения Арктики» (директор В.А.Пушкарев), Департаментом международных и внешнеэкономических связей ЯНАО (директор А.В.Мажаров) и Департаментом по науке и инновациям ЯНАО (директор А.Л.Титовский).■

\* Покмарки — округлые углубления в рельефе дна (в том числе и газогидратоносные), формирование которых связано с разгрузкой газонасыщенных флюидов.

## Литература

1. Лейбман М.О., Плеханов А.В. Ямальская воронка газового выброса: результаты предварительного обследования // ХолодОК. 2014. Т.2. №12. С.9—15.
2. Стрелецкая И.Д., Лейбман М.О. Криогеохимическая взаимосвязь пластовых льдов, криопеггов и вмещающих их отложений Центрального Ямала // Криосфера Земли. 2002. Т.6. №3. С.15—24.
3. Хомутов А.В., Лейбман М.О., Андреева М.В. Методика картографирования пластовых льдов Центрального Ямала // Вестник Тюменского государственного университета. Науки о Земле. 2012. №7. С.76—84.
4. Walker D.A., Leibman M.O., Epstein H.E. et al. Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: interactions of ecological and social factors affecting Arctic NDVI // Environ. Res. Lett. 2009. №4. doi:10.1088/1748-9326/4/4/045004
5. Богоявленский В.И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. 2014. №9. С.13—18.
6. Эпов М.И., Ельцов И.Н., Потанов В.В. и др. Бермудский треугольник Ямала // Наука из первых рук. 2014. Т.59. №5. С.14—23.
7. Leibman M.O., Kizyakov A.I., Plekbanov A.V., Streletskaya I.D. New permafrost feature — deep crater in Central Yamal, West Siberia, Russia, as a response to local climate fluctuations // Geography, Environment, Sustainability. 2014. V.7. №4. P.68—80.
8. Кизяков А.И., Сонюшкин А.В., Лейбман М.О. и др. Геоморфологические условия образования воронки газового выброса и динамика этой формы на Центральном Ямале // Криосфера Земли. 2015. Т.9. №2. С.15—25.
9. Чувилин Е.М., Якушев В.С., Перлова Е.В. и др. Газовая компонента толщ мерзлых пород в пределах Бованенковского газоконденсатного месторождения (полуостров Ямал) // Докл. АН. 1999. Т.369. №4. С.522—524.
10. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. М., 2009.
11. Hovland M., Gardner J.V., Judd A.G. The significance of pockmarks to understanding fluid flow processes and geohazards // Geofluids. 2002. №2. P.127—136.

# Снегоопасность городов Сахалина

В.А.Лобкина, Е.Н.Казакова

На большей части территории нашей страны зимой обычно выпадает огромное количество снега. Это обстоятельство сказывается на функционировании ряда отраслей хозяйства и отражается на жизни местного населения. Одним из регионов, ежегодно испытывающим на себе последствия мощных снегопадов, по праву считается о.Сахалин. Обилие снега в течение всей зимы снижает безопасность и увеличивает стоимость эксплуатации зданий, затрудняет передвижение транспорта и пешеходов.

Мы задались целью проанализировать последствия выпадения больших объемов снега для урбанизированных территорий и оценить степень его влияния на городское хозяйство острова.

Воспользуемся для этого несколькими терминами. Один из них — снегоопасность территории. Она определяется целым комплексом неблагоприятных явлений и катастрофических процессов, возникающих в результате выпадения твердых атмосферных осадков, а также формирования, перекристаллизации и разрушения снежного покрова в естественных или антропогенных условиях [1]. В зарубежной научной литературе используется аналогичный термин — snow hazard [2]. Рассмотрим те составляющие снегоопасности, которые наносят



**Валентина Андреевна Лобкина**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г.Южно-Сахалинск). Занимается исследованием физических свойств снежного покрова, снеговых нагрузок и метелевого режима о.Сахалин.



**Екатерина Николаевна Казакова**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — изучение снега и снежных лавин.

**Ключевые слова:** снегоопасность, снеговые нагрузки, метели, лавины.  
**Key words:** snow hazard, snow load, blizzard, avalanche.

особенно существенный урон экономике острова. Это снегопады, метели, экстремальные снеговые нагрузки и лавины.

## Снегопады и метели

В зимний период над Сахалином и омывающими его морями создается высокая циклоническая активность, вызванная положением острова в зоне обширных и устойчивых воздушных течений. Циклоны приходят сюда с запада и юга, они интенсивно развиваются, охватывают большие территории, а проходя над островом, вызывают обильные снегопады и метели [3].

Средняя продолжительность периода возможного формирования метелей на Сахалине составляет 7—8 мес. В зависимости от количества циклонов число дней с метелями сильно колеблется от года к го-



Улицы Южно-Сахалинска после метелей в январе 2012 г. (вверху), в марте 2013 г. (в центре) и в январе 2015 г.

Здесь и далее фото авторов

ду. На западном и восточном побережьях они наблюдаются чаще, нежели в центральных районах, а продолжаться одна метель может до 6–7 сут.

Сильные метели (со скоростью ветра более 15 м/с) и обильные снегопады отмечаются во всех районах острова, но повторяемость их может быть различной. Например, в Тымь-Поронайской низменности (с.Адо-Тымово) за год в среднем фиксируется 13 дней с метелью, а на юго-восточном побережье острова (г.Холмск) — до 69 [4].

На Сахалине наблюдаются так называемые особо опасные метели — продолжительностью свыше 12 ч, со скоростью ветра более 25 м/с и видимостью 50 м и менее в течение более 3 ч [5]. До 2000-х годов на севере и на мысовых гидрометеорологических станциях такие метели повторялись один-два раза в год, в остальных районах острова — в среднем менее 0.5 раза в год. Чаще всего (от 6 до 12 раз) они случались в зимы 1955–1956, 1965–1966, 1969–1970, 1984–1985, 1986–1987, 1993–1994 гг. С 1970-х годов особо опасные метели повторяются все реже, а после 2000-х на севере и на западном побережье острова они фиксируются 0.3–0.5 раза в год. В южных районах сильные метели регистрировались не везде, их максимальная повторяемость составляет 0.1 раза в год (на станции «Южно-Сахалинск»).

Для Сахалина характерны периоды, когда метели, сопровождаемые обильными снегопадами, следуют друг за другом с интервалом в несколько дней. При этом за раз может выпасть одна или несколько месячных норм снега. Например, за время прохождения циклона 3–5 января 1991 г. суммы осадков, по данным гидрометеорологических станций юга острова, составили от 51 до 112 мм [6]. На несколько суток здесь были закрыты все автомобильные и железные дороги. Во время циклона 22–25 февраля 1994 г. также было остановлено транспорт-

ное сообщение. Тогда в южных районах Сахалина выпало от 35 до 114 мм осадков.

Только за последние пять лет на юге острова зафиксированы две метели, во время или сразу после которых суммы осадков превысили 100 мм. Так, за период с 23 по 30 декабря 2011 г. в Южно-Сахалинске выпало 109 мм осадков, а за метель 14–16 декабря 2013 г. — 101 мм.

Интенсивные снегопады, вызывающие большой прирост высоты снежного покрова, причиняют в основном косвенный экономический ущерб за счет простоя транспорта и необходимости уборки снега. По сообщению Департамента городского хозяйства Южно-Сахалинска, расчистка городской территории после метелей требует около 300 единиц техники.

Снег на территории города распределяется неравномерно. Это связано с особенностями городской застройки: например, у подветренных сторон зданий образуются переметы, в промежутках между домами — зоны выдувания. По данным наблюдений сотрудников Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН, во время метелей на улицах Южно-Сахалинска накапливается в среднем 30–40 см снега, однако практически ежегодно бывают случаи, когда толщина снежного покрова после метели составляет 50–100 см и более, а в переметах на некоторых улицах достигает 3 м (табл.1).

Для многих районов Сахалина характерны снегопады высокой интенсивности, во время которых за 12 ч может выпасть свыше 30 мм осадков. Такие снегопады случаются в городах Поронайске, Углегорске, Макарове, Долинске, Южно-Сахалинске и др.

Метелевый режим на Сахалине определяет высокую степень снегоопасности в городах. Она проявляется в снежных заносах на улицах, высоких нагрузках на крыши зданий, а также в повышенной лавиноопасности.

### Снежные полигоны

Выпавший в населенном пункте снег необходимо убирать и вывозить на специальные полигоны. Например, с территории г.Корсакова и ближайших к нему поселков при ликвидации последствий двух глубоких циклонов, прошедших здесь 17–18 декабря 2014 г. и 7–8 января

**Таблица 1**

**Высота снега на улицах Южно-Сахалинска после метелей с количеством осадков более 50 мм (2011–2015)**

Дата	Количество осадков, мм	Средняя толщина снежного покрова на улицах города, см	Толщина снежного покрова в переметах, см
23–30 декабря 2011 г.	109	140	—
5–7 декабря 2012 г.	72	75	—
2 марта 2013 г.	71	45–75	300
14–16 декабря 2013 г.	101	70–90	140
6–8 января 2015 г.	80	100	—

2015 г., на снежный полигон было вывезено около 111,6 тыс. м<sup>3</sup> снега, а это в два раза больше, чем за весь зимний сезон 2013–2014 гг. На улицы г.Холмска те же циклоны обрушили 220 тыс. м<sup>3</sup> снега; за неделю отсюда на снежные полигоны попало около 46 тыс. м<sup>3</sup>.

Особенно остро проблема расчистки и вывоза снега с городской территории стоит в Южно-Сахалинске [7]. Здесь начиная с зимы 2010–2011 гг. функционируют два полигона для складирования снежных масс. Они приступают к работе в декабре, а закрываются в апреле, когда начинается активное снеготаяние. Ежемесячная масса снега, накопленного на полигонах, зависит от распределения осадков в течение зимнего сезона и от качества расчистки городских улиц. В среднем за сезон с территории городской застройки Южно-Сахалинска сюда свозится более 1 млн м<sup>3</sup> снега. Общая площадь снежных полигонов изначально составляла 9,3 га, в последующие зимы она постепенно увеличивалась (в основном за счет полигона, расположенного в южной части города) и к 2014–2015 гг. достигла 19 га.



Общий вид бровок снежного полигона в Южно-Сахалинске в марте 2011 г.



Снежный полигон в Южно-Сахалинске в июле 2014 г.

Для многих городов складирование больших объемов снежных масс становится настоящей проблемой, ведь они, как правило, сильно загрязнены. По содержанию различных элементов снег с городских улиц резко отличается от выпадающего за городом. Кроме того, в собираемый снег часто попадают бытовой мусор, тротуарная плитка, песок и многое другое. В результате каждый год к началу снеготаяния полигоны представляют собой снежно-ледовые образования, сильно загрязненные бытовыми отходами, и фактически становятся несанкционированными свалками в черте города.

### Снеговые нагрузки

Под тяжестью выпавшего в городе снега кровли зданий и различных сооружений могут быть повреждены или частично разрушены. Чрезвычайные ситуации, связанные с большим снегонакоплением, на Сахалине не редкость. В последние годы обрушения крыш зафиксированы в 2009, 2012 и 2015 гг.

Особенно крупные разрушения были вызваны снегопадами в марте 2009 г. [8]. В результате прохождения мощного циклона 13–17 марта за сутки выпало 19 мм осадков, вследствие чего частично обрушилась крыша общежития в Синегорске (юг Сахалина). В это же время тяжести снега не выдержала часть кровли слухового окна Синегорской участковой больницы. 19 марта из-за скопившегося снега провалилась крыша общеобразовательной школы в с.Пятиречье.

Следом за первым подошел следующий циклон. С 20 по 22 марта за сутки выпало более 20 мм осадков и произошло еще два обрушения. Под тяжестью мокрого снега в пос.Вахрушеве Поронай-

ского р-на (центральная часть острова) просела крыша жилого 18-квартирного дома (площадь проседания составила 30 м<sup>2</sup>). А в Синегорске частично обрушилась крыша отделения сестринского ухода городской больницы.

Несколько повреждений кровель произошло в Южно-Сахалинске в 2012 г. В феврале была разрушена часть производственного ангара площадью 312 м<sup>2</sup>, объем снега на крыше обвалившегося участка оказался равным 219 м<sup>3</sup>. Нагрузка на кровлю не превышала 2.9 кПа, при том что предельная ее величина, рассчитанная для Южно-Сахалинска в «Рекомендациях по расчету снеговых нагрузок на сооружения в Сахалинской области», составляет 6.0 кПа [9], а согласно СНиП



Обрушение крыши ангара в Южно-Сахалинске.

2.01.07–85° она оценивается в 4.0 кПа. В марте обрушилась крыша гаража при правительстве Сахалинской обл., в результате были сильно повреждены шесть автомобилей.

Также зимой 2012 г. после обильных снегопадов оказались повреждены и местами разрушены теплицы и хозяйственные постройки в дачном массиве в с.Вторая Падь (Корсаковский р-н).

В марте 2015 г. в южносахалинском Городском парке культуры и отдыха им.Ю.А.Гагарина под тяжестью снега обрушился навес уличного кафе. Зимой оно не работает, поэтому никто не пострадал. Крыша рухнула после серии снегопадов, начавшихся 27–28 февраля и продлившихся до 3 марта. Сумма осадков, выпавших за эти дни, составила 25.3 мм.

Последовавшие одно за другим обрушения крыш на Сахалине свидетельствуют, что при проектировании зданий в расчет была включена заниженная величина снеговой нагрузки. Сегодня при проведении исследовательских работ по ее нормированию необходимо учитывать не только максимально возможное разовое значение веса снегового покрова, но и совокупную нагрузку, вызванную постепенным нагружением кровли при снегопадах, следующих друг за другом в короткий период времени.

## Лавины

Сахалин считается одним из самых лавиноопасных мест в нашей стране. В зонах риска на острове расположены 54 населенных пункта (восемь городских и 46 сельских) и зеленая зона Южно-Сахалинска (горнолыжный комплекс «Горный воздух»), где в сумме проживает около 180 тыс. человек.

Общая площадь лавиносборов, находящихся непосредственно в населенных пунктах острова, превышает 5.4 тыс. га. Лавинами могут быть поражены от 1 до 45% территории населенных пунктов Сахалина. Так, в г.Холмске этот показатель составляет 29%, а в Невельске достигает 45%.

Наблюдения за лавинами Сахалина ведутся с 1928 г. За это время зарегистрированы 134 случая попадания в них людей (из 639 человек, попавших в лавины, 302 погибли). В более чем 70% случаев люди оказывались под снегом на территории населенных пунктов [10]. В опасных зонах расположено множество жилых домов, производственных сооружений и объектов социального значения. Например, в Невельске под угрозой находятся около 250 домов, две школы, детский сад и морское училище.

В населенных пунктах острова лавины регулярно причиняют ущерб, заключающийся главным образом в повреждении зданий и завалах городской территории. Например, лавина, сошедшая 13 января 2014 г. со склона морской террасы на с.Чехов (Холмский р-н), выбила два окна и дверь в школе №1 и снесла находившуюся рядом трансформаторную подстанцию. В результате происшествия на сутки были обесточены шесть многоквартирных домов, школа и поликлиника. Высота зоны отрыва лавины составила 124 м, объем — около 6 тыс. м<sup>3</sup>, дальность выброса — 270 м.

На территории населенных пунктов Сахалина преобладают небольшие лавиносборы с относительной высотой до 100 м и площадью менее 2 га. Это связано главным образом с тем, что многие города и поселки расположены на морских берегах, а территория жилой застройки находится под уступами морских террас [11]. Объемы лавин



Отложения лавины, повредившей здание школы в с.Чехов.

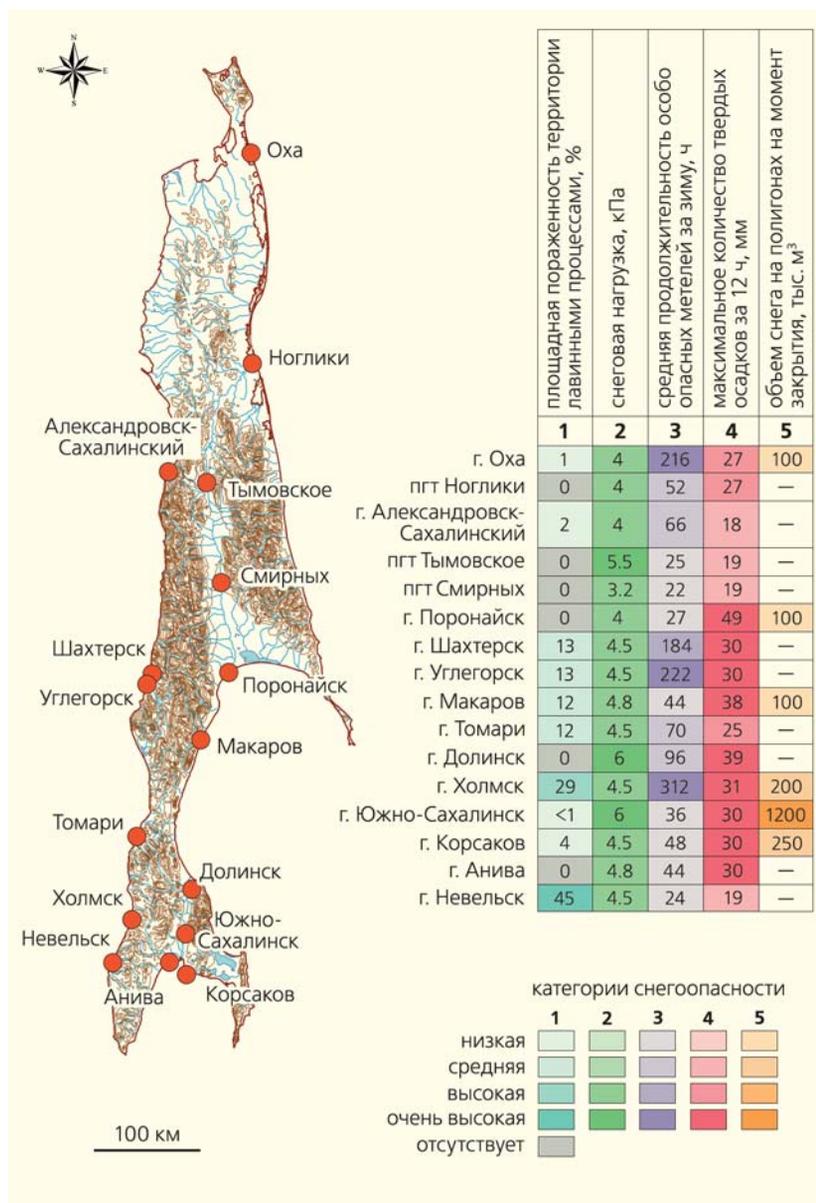
Фото Д.А.Бобровой

здесь в среднем не превосходят 1 тыс. м<sup>3</sup> (хотя самые крупные могут превышать 50 тыс. м<sup>3</sup>).

Максимальная расчетная дальность выброса лавин, согласно методике С.М.Козика, в населенных пунктах острова в большинстве случаев не превышает 250 м [12]. Но так как жилые дома, а также автомобильные и железные дороги чаще всего расположены под береговыми уступами либо в днищах узких долин, то даже лавины, сошедшие со склонов высотой всего около 10 м и имеющие небольшую дальность выброса, могут привести к человеческим жертвам и нанести немалый ущерб хозяйственным объектам.

### Оценка снегоопасности

Для того чтобы оценить, насколько снегоопасна территория того или иного города Сахалина, мы составили обобщающую схему, в которой постарались учесть основные показатели, представляющие угрозу для населения и хозяйства городов: лавины, снеговые нагрузки, сильные метели, интенсивные снегопады, а также количество вывозимого на полигоны снега. Для каждого из опасных явлений был выбран самый характерный параметр (табл.2): например, лавиноопасность можно оценить, измерив площадь возможного поражения, а интенсивность снегопада — по ко-



Снегоопасность городских поселений Сахалина.

**Таблица 2**

**Параметры выделения категорий снегоопасности**

Явление	Параметр	Категория снегоопасности			
		низкая	средняя	высокая	очень высокая
снежные лавины	территория возможного поражения, % от площади города	<10	10–20	20–40	>40
снеговые нагрузки	величина нагрузки, кПа	<2	2–3	3–5	>5
особо опасные метели	средняя продолжительность за зиму, ч	<50	50–100	100–200	>200
интенсивные снегопады	максимальное количество твердых осадков за 12 ч, мм	<10	10–20	20–30	>30
снежные полигоны	объем снега на момент закрытия полигона, тыс. м <sup>3</sup>	<200	200–400	400–800	>800

личеству твердых осадков за 12 ч. Значения всех параметров разделены на четыре категории по степени проявления последствий этих процессов на урбанизированной территории.

Анализ схемы показал, что степень снегоопасности в разных районах острова различается. Воздействие лавин в наибольшей степени подвержены города, расположенные на побережьях: Шхатёрск, Углегорск, Холмск, Невельск и др. Особо опасные метели имеют максимальную продолжительность в Охе, Углегорске и Холмске, что связано с большими скоростями ветра и их высокой повторяемостью в прибрежных районах острова. Самые интенсивные снегопады, когда количество твердых осадков за 12 ч может превысить 30 мм, случаются в южных районах, над которыми проходят траектории движения большинства зимних циклонов. Максимальные значения снеговых нагрузок на территории населенных пунктов Сахалина изменяются незначительно, но относятся к высокой и очень высокой категориям снегоопасности, что связано с большим количеством твердых осадков

и длительным периодом залегания снежного покрова. Объем снега на полигонах зависит не только от количества выпадающих твердых осадков, но и от площади территории города, нуждающейся в расчистке, поэтому снегоопасность этот показатель может определять лишь косвенно.

Таким образом, наиболее высокую степень снегоопасности имеют города Оха, Шхатёрск, Углегорск, Макаров, Холмск, Южно-Сахалинск и Корсаков. Они расположены (за исключением Охи и Южно-Сахалинска) на морских берегах южной части острова, где снегоопасность обуславливается сочетанием гидрометеорологических и геоморфологических условий.

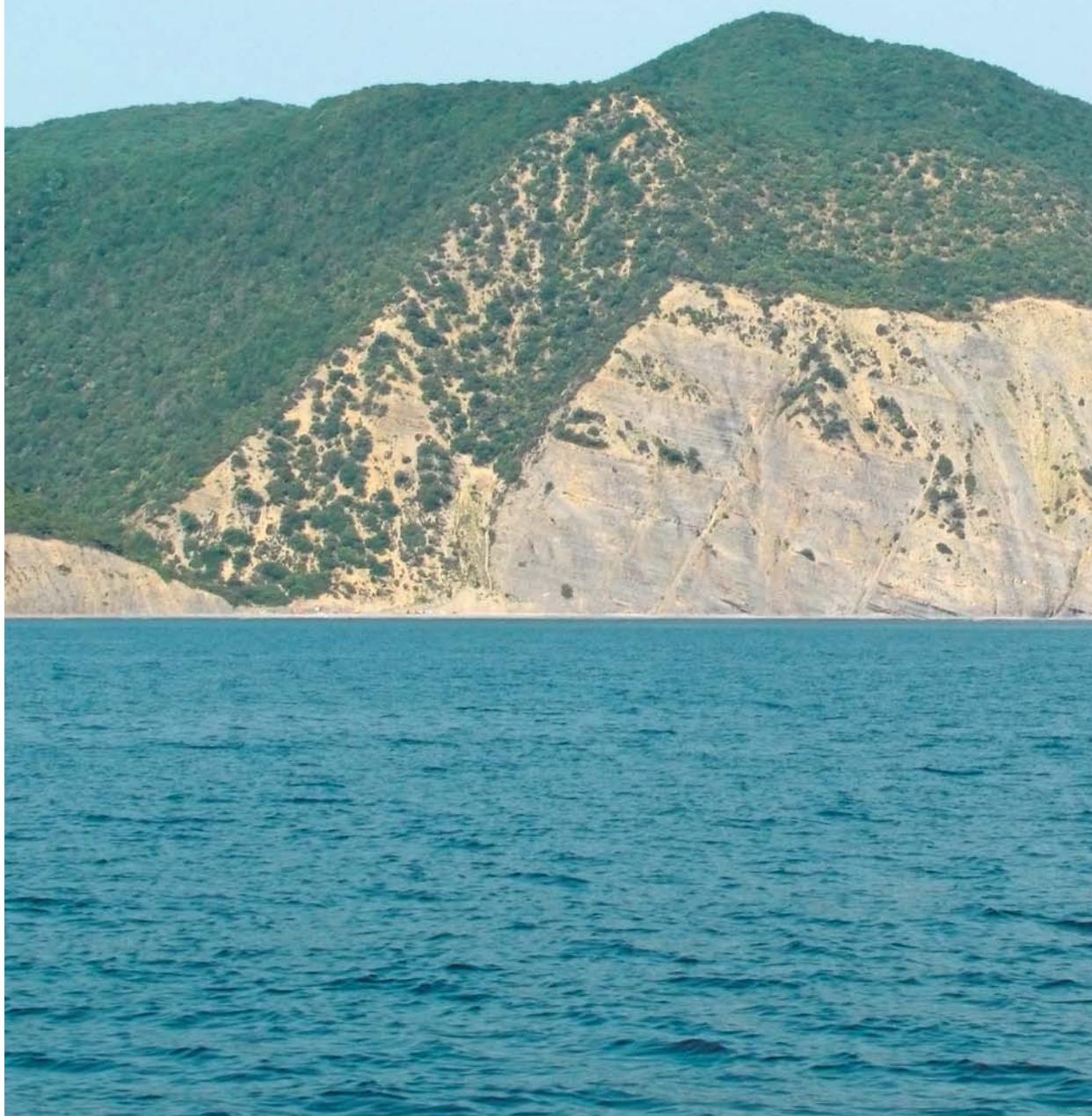
В регионах с длительным периодом залегания снежного покрова проблема снегоопасности населенных пунктов стоит достаточно остро. На сегодняшний день полностью решить ее на Сахалине нельзя, можно лишь уменьшить последствия от многоснежных зим путем территориального планирования населенных пунктов, инженерной защиты и организационных мер. ■

## Литература

1. Снегоопасность юга Восточной Сибири и Дальнего Востока: Карта / Под ред. В.Р.Алексеева. Иркутск, 2005.
2. Rooney J.F. The urban snow hazard in the United States: an appraisal of disruption // *Geographical Review*. 1967. V.57. №4. P.538—559.
3. Генесина А.С. Основные синоптические процессы в зимний период над Сахалинской областью // *Снег и лавины Сахалина*. Л., 1975. С.5—12.
4. Научно-прикладной справочник по климату СССР (Сахалинская область) / Под ред. З.Н.Пильниковой. Л., 1990.
5. Справочник по климату СССР. Особо опасные метеорологические явления / Под ред. Д.Ф.Лазаревой. Южно-Сахалинск, 1985.
6. Генсировский Ю.В. Периодичность метелевых зим на о.Сахалин и проблемы снеготранспорта урбанизированных территорий // *Геориск*. 2010. №4. С.32—36.
7. Podolskiy E.A., Lobkina V.A., Gensiorovsky Y.V., Tibert E. Evaluating ablation and environmental impact of anthropogenic snow patches (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia) // *Cold Regions Science and Technology*. 2015. №114. P.44—60.
8. Лобкина В.А. Ущерб от снеговых нагрузок в Российской Федерации. Причины и последствия // *Геориск*. 2012. №1. С.50—53.
9. Лобкина В.А. Расчет и картирование снеговой нагрузки на поверхность земли // *Криосфера Земли*. 2015. Т.ХІХ. №1. С.106—113.
10. Казакова Е.Н., Лобкина В.А. Размещение населения и хозяйственных объектов в лавиноопасных зонах Сахалинской области // *География и природные ресурсы*. 2013. №4. С.52—56.
11. Казакова Е.Н. Природные лавинные комплексы берегов Сахалина // *География и природные ресурсы*. 2012. №4. С.184—187.
12. Козик С.М. Расчет движения снежных лавин. Л., 1962.

# *Как меняется фитобентос южных морей России?*

О.В.Степаньян



Донная растительность южных морей России изучается уже более 200 лет. Во второй половине XIX — начале XX вв. важная роль в организации альгологических исследований принадлежала Харьковскому императорскому университету и Севастопольской биологической станции, а также работам выдающихся ученых Л.А.Ришави, К.Н.Декенбаха, Л.В.Рейнгарда, С.М.Переяславцевой, Н.Н.Воронихина [1]. Первые комплексные исследования фитобентоса проводились в 1920—1930-х годах Л.И.Волковым и Н.В.Морозовой-Водяницкой в знаменитых промысловых экспедициях Н.М.Книповича, на Новороссийской и Севастопольской биостанциях [2]. Специализированные научные суда, легководолазное снаряжение и погружаемые аппараты начали использоваться в подобной работе в 1960—1970-х годах А.А.Калугиной-Гутник, К.М.Петровым, К.Л.Виноградовой, И.И.Погребняком, В.В.Громовым и многими другими. Обобщенные результаты этих исследований стали классикой отечественной и зарубежной альгологии. Тогда же вышли первый и до сих пор единственный определитель макроводорослей южных морей, составленный А.Д.Зиновой, и монография Калугиной-Гутник [3, 4]. После некоторого спада в 1990-х годах интерес к альгологии усилился, но работы по современной оценке видового разнообразия макроводорослей южных морей только начинаются [5—10]. Сегодня такие исследования чрезвычайно важны, поскольку состояние этой флоры может отражать влияние глобальных и региональных климатических изменений на морскую биоту [11].

Полевой материал был собран автором в 2000—2012 гг. в Азовском море и российском побережье Черного и Каспийского морей в рейсах научно-исследовательских судов «Денеб», «Профессор Панов»\*. В результате удалось составить представление о состоянии водной растительности этих акваторий.

За основу регионального списка макроводорослей был взят перечень Калугиной-Гутник [4], в котором выделили четыре группы, сходные по встречаемости и обилию видов. В первую группу вошли водоросли северо-западной части Черного моря, во вторую — северо-кавказского и крымского побережий, в третью — южной и юго-западной окраин Черного моря, в четвертую — макрофиты

\* Автор благодарен капитанам и командам научно-исследовательских судов и участникам морских экспедиций за помощь в сборе материала.



*Олег Владимирович Степаньян, кандидат биологических наук, заведующий отделом изучения экстремальных природных явлений и техногенных катастроф Южного научного центра РАН (Ростов-на-Дону). Занимается исследованием донной растительности южных морей России.*

**Ключевые слова:** макроводоросли, климат, Азовское море, Черное море, Каспийское море.

**Key words:** seaweeds, climate, Sea of Azov, Black Sea, Caspian Sea.

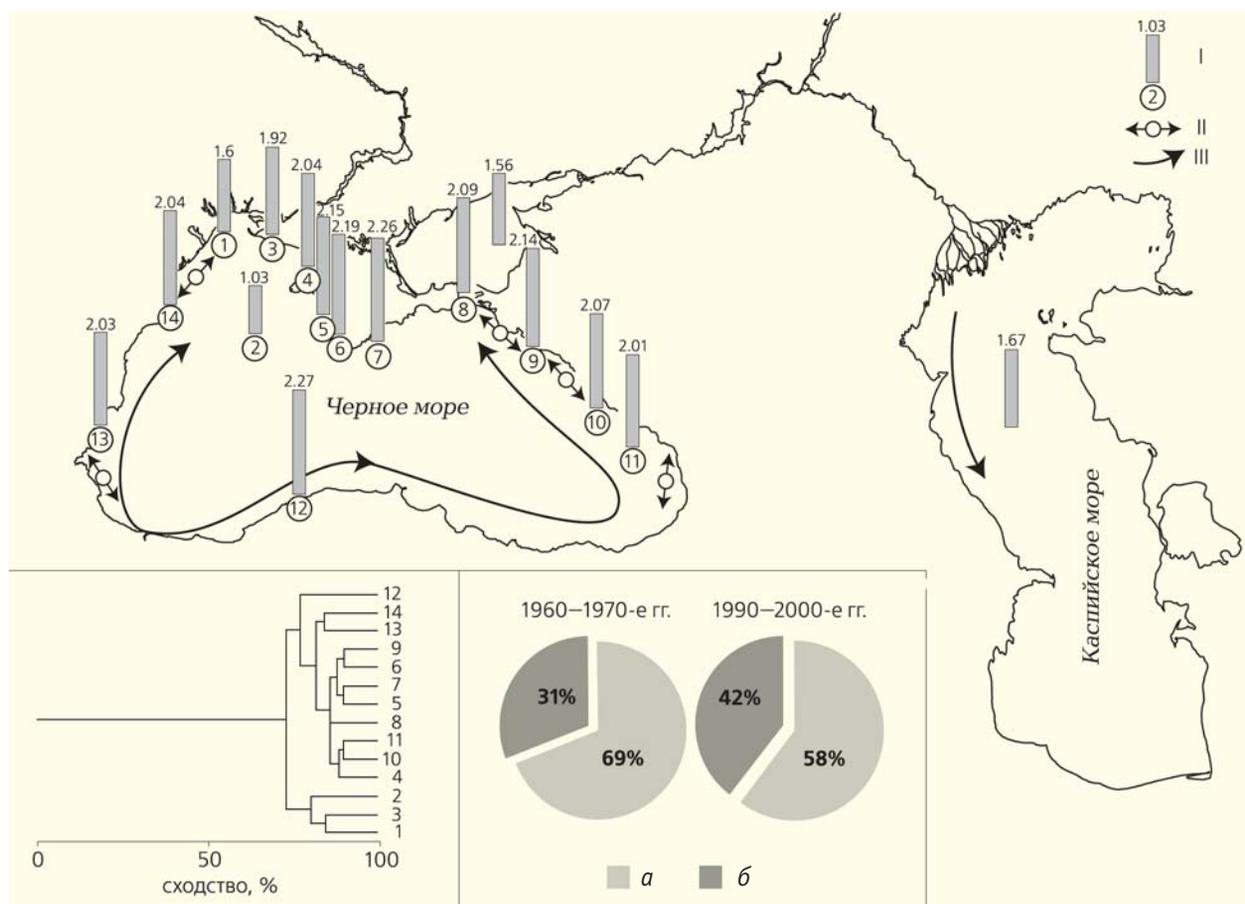
Азовского, Каспийского морей и Филлофорного поля Зернова\*\*. Анализ полученных данных позволил обнаружить районы с максимальным видовым разнообразием. В прошлом веке к ним относились северо-восточное и южное побережья Крыма, Новороссийская и Севастопольская бухты. В середине 1970-х годов видовое разнообразие макроводорослей южных морей было изучено относительно полно (за исключением турецкой зоны): в Черном море выявлено 289 видов, в Азовском — 33 вида, в Каспийском — 47 видов [4].

## Перемены в Черном море

По сравнению с прошлыми данными в настоящее время количество видов водорослей значительно выросло в румынском, болгарском, турецком, украинском, абхазском и российском районах Черного моря [11]. Большинство новых видов (и их максимальное разнообразие) оказалось в водах турецкого и крымского регионов. Выяснилось также, что существуют две группы черноморских водорослей: одна в северном, наиболее опресненном участке, другая — в остальной части моря. Макрофиты же турецкой зоны образуют обособленный комплекс, несколько отличающийся от флоры других участков моря.

В 1960—1970-х годах заметно выделялся комплекс холодноводных водорослей, причем доминировали бореальные виды [3]. В 1990—2000-х годах, по результатам наших работ, во флоре Черного моря увеличилась доля тепловодного комплекса с преобладанием бореально-тропических и субтропических элементов. В значительной степени это связано с появлением там в последнее время новых видов тепловодных водорослей

\*\* Ботанический заказник, расположенный в акватории Черного моря на шельфе северо-западного региона, в котором проводились наши работы до 2012 г.



Карта распределения значений индекса Шеннона на акватории южных морей (I), вероятные пути вселения водорослей из портовых акваторий (II) и с течениями (III). 1 — одесское побережье; 2 — Филлофорное поле Зернова; 3 — Егорлыцко-Тендровско-Джарылгачско-Перекопский район; 4 — Каркинитский залив; 5 — тарханкутско-севастопольское побережье; 6 — Севастопольская бухта; 7 — южное взморье Крыма; 8 — Прикерченский район; 9 — Новороссийская бухта; 10—14: северо-восточное (10), юго-восточное (11), турецкое (12), болгарское (13) и румынское (14) побережья. Внизу приведены дендрограмма видового сходства водорослей из различных районов Черного моря (слева) и диаграммы распределения водорослей холодноводного (а) и тепловодного (б) комплексов Черного моря.

[8, 9, 12]. Некоторые из них, например из рода *Sargassum*, конкурируют с доминантами верхней сублиторали — бурыми водорослями *Cystoseira barbata*, *C. crinita* — и начинают активно расширять свой ареал в Черном море, в том числе и в российском секторе [8].

Появление новых видов водорослей может быть вызвано повышением температуры воды, колебаниями солености в прибрежной зоне моря, возрастанием эвтрофирования и мутности прибрежных вод. Хотя все эти причины связаны друг с другом, наиболее важно для развития и распространения водорослей изменение первого фактора. В последние годы выявлено еще одно изменение — значительно уменьшилась глубина распространения прикрепленных водорослей [6, 7, 9], в том числе и цистозировых, составляющих основу эпифитного комплекса Черного моря. Отметим, что условия на глубинах от 15 до 50 м оптимальны для развития именно холодноводных водорослей.

Мы полагаем, что наблюдаемые явления приводят к уменьшению ареала и исчезновению в первую очередь естественных арктобореальных холодноводных водорослей. Видимо, этим же объясняется снижение видового разнообразия возле одесского берега и в Филлофорном поле Зернова. Здесь, на северо-западе, с 1970-х годов по настоящее время индекс разнообразия уменьшился на 28.4 и 12.1% соответственно. Существенно влияют на состав и глубинное распределение водорослей не только климатические изменения, но и деятельность человека (добыча водорослей, строительство в береговой зоне, загрязнение). Особенно сказывается такое воздействие в Филлофорном поле Зернова, где за 50 лет был уничтожен крупнейший в Черном море запас образующих пласты красных водорослей холодноводного комплекса. Источником различных вселений, в том числе и холодноводных водорослей, могут быть балластные воды судов. Именно они стали виной появления в 1990-х го-



Бурая водоросль цистозира — основа морской экосистемы Черного моря.



Черноморские «леса» цистозир.



Филлофора — холодноводный реликт, исчезающий свидетель ледниковой эпохи.

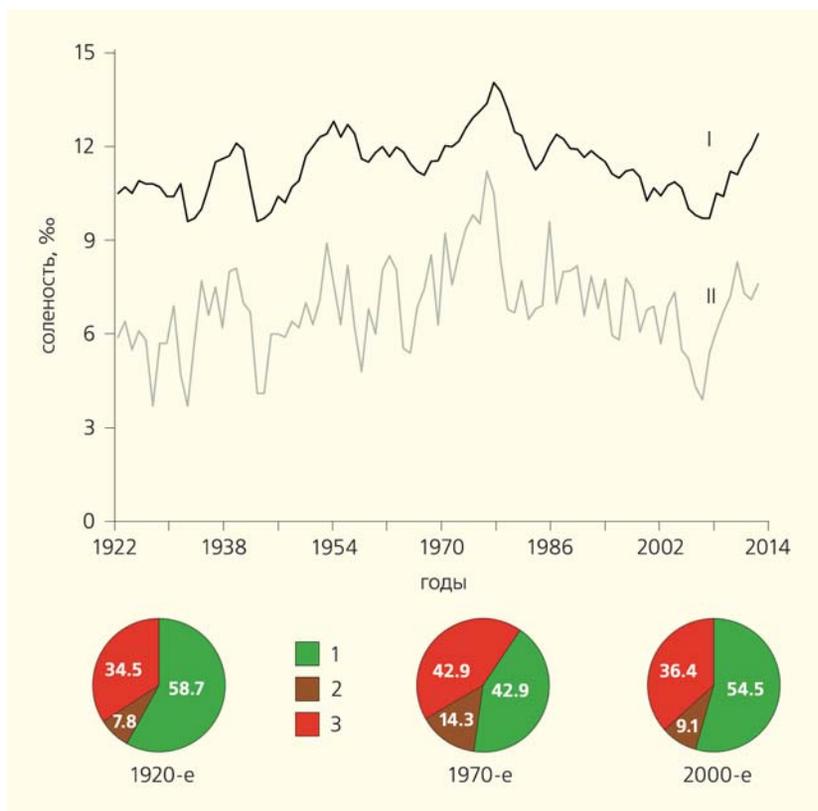
дах в районе Одессы арктобореальной бурой водоросли *Desmarestia viridis* и последующей ее акклиматизации. Ареал *D. viridis* в Черном море за 20 лет увеличился, хотя и незначительно, за счет румынского сектора и по-прежнему располагается в самом холодном участке. Сообщения же некоторых исследователей о более южных находках этой водоросли — в районе Анапа—Новороссийск — пока не подтвердились.

### Изменения в Азовском море

В Азовском море, Керченском проливе и Таманском заливе обнаружено 17 видов зеленых, 5 видов бурых и 23 вида красных водорослей [13]. В Азовском море их общее количество оказалось меньше, чем считалось ранее [3]. Отчасти это связано с тем, что из-за ревизии некоторых групп зеленых и красных водорослей список видов сокращен за счет удаления синонимичных и сомнительных видов.

Известно, что градиент солености в эстуариях не только влияет на распределение бентосных организмов, но и определяет состав основных таксономических групп водорослей — зеленые начинают численно преобладать над бурыми и красными [14]. Аналогичные закономерности выявлены в Азовском море; там основные группы макроводорослей в исследованных районах распределены неравномерно. В Таганрогском заливе больше всего зеленых водорослей родов *Enteromorpha*, *Cladophora*, *Rhizoclonium*, *Chaetomorpha*. На остальной части Азовского моря, в Керченском проливе и Таманском заливе преобладают водоросли тех же родов (*Enteromorpha*, *Chaetomorpha*) и еще двух — *Ceramium*, *Polysiphonia*. Все они играют существенную роль в продуктивности прибрежных экосистем (сырая масса обрастателей достигает  $0.3\text{--}1.5\text{ кг/м}^2$ , неприкрепленных макроводорослей —  $0.5\text{--}8.5\text{ кг/м}^2$ ). Зеленые и красные водоросли образуют эпифитные сообщества на водной и прибрежно-водной растительности. Большинство из них космополиты и могут быстро адаптироваться к изменяющимся условиям среды. По типу экологических стратегий это типичные r-стратеги, или эксплеренты, для которых характерен быстрый рост, высокая скорость воспроизводства, простое строение таллома, относительно низкие значения биомассы формируемых сообществ.

Наши исследования подтвердили имеющиеся представления [5, 7] о преимуществе в Азовском море зеленых и красных водорослей и незначительном количестве бурых. Несмотря на это, последние играют важную роль в прибрежной экосистеме: некоторые бурые водоросли (*C. barbata* и *C. crinita*) определяют особенности сублиторальных фитосообществ средиземноморского типа. Скопления красных и бурых водорослей



Кривые солёности в Азовском море (I) и в Таганрогском заливе (II). Внизу — диаграммы распределения основных групп макроводорослей в Азовском море и Таганрогском заливе: 1 — зеленые, 2 — бурые, 3 — красные.

приурочены к юго-западной части Азовского моря. На твердых естественных субстратах больше бурых (*C.barbata* и *C.crinita*), на рыхлых — харовых водорослей (*Chara aculeolata*) и морских трав (*Zostera marina*, *Z.noltii*). Бурые водоросли и морские травы формируют многолетние высокопродуктивные сообщества с обильным эпифитным скоплением из красных и зеленых водорослей. Цистозировые водоросли имеют сложный структурно и морфологически дифференцированный многолетний таллом и дают большую биомассу. В Азовском и Черном морях они образуют стабильные сообщества, характерные для поздних стадий растительной сукцессии.

Сегодня в Азовском море изменилось соотношение основных групп водорослей, обусловленное колебаниями солёности, связанными с изменениями климата и антропогенной деятельностью. А вообще число видов там невелико. В Таманском заливе их больше, причем обилие более выровнено, доминирующие виды не столь четко выявляются, как в Азовском море. При увеличении солёности видовое разнообразие в сообществах макроводорослей в море возрастает. Для Таганрогского залива индекс Шеннона составляет 0.65, для прибрежной части Азовского моря — 1.04, для Таманского залива — 1.38.

Мезо- и полисапробные\* виды макроводорослей, обитающие в Азовском море, подтверждают его мезотрофный статус. Все олигосапробные виды, т.е. любители относительно чистых вод, произрастают в районе Керченского пролива. На наш взгляд, это указывает не только на антропогенное загрязнение Азовского моря, но и на действие естественных факторов. Аналогичные процессы отмечены для большей части шельфа Черного моря [8, 12]. Сравнив собственные данные с результатами исследований, проведенных в середине 1970-х годов, мы поняли, что видовое разнообразие и соотношение видов макроводорослей в группах изменилось, при этом список полисапробов пополнился новым видом — *Ulva rigida*. Сузилась область распространения таких крупных бурых водорослей как *C.barbata* и *C.crinita*, ранее обычных для азовских вод возле Крымского п-ова [15]. В настоящее время эти водоросли встречаются только в районе Керченского пролива [13]. Вряд ли можно отнести эти виды к вселен-

цам, проникшим в Азовское море в конце 1980-х годов [8], — они и раньше там встречались [15]. Вероятнее всего, колебание краевой области ареала этой бурой водоросли зависит от солёности воды. Разнос течениями жизнеспособных талломов *C.barbata*, по нашим наблюдениям [13], может достигнуть Таганрогского залива (автор нашел *C.barbata* на косе Долгой в апреле 2001 г.).

Распределение морских трав в Азовском море зависит не только от солёности воды, но и от гранулометрического состава донных отложений. Как показано в ряде исследований, морские травы предпочитают песчано-илистые грунты [12]. Этим объясняется почти полное отсутствие *Z.marina* и *Z.noltii* в Темрюкском заливе с подвижными песчано-ракушечными грунтами. В Азовском море и Таманском заливе морские травы (*Z.marina*, *Z.noltii*, *P.pectinatus*, *Ruppia spiralis*, *R.maritima*, *Zannichellia major*) формируют сообщества с биомассой от 1 до 5–6 кг/м<sup>2</sup>. Такие скопления приурочены к заливам и лиманам, относительно за-

\* Сапробность — способность организма обитать в воде с разным содержанием органических веществ, т.е. с разной степенью загрязнения. При малом количестве органики живут олигосапробы, умеренное загрязнение выносят мезосапробы, а сильно загрязненные водоемы пригодны только для полисапробов.

щищенным от волновой активности, что, вероятно, оптимально для развития перечисленных морских трав. Пресноводные травы *P.perfoliatus*, *Myriophyllum spicatum* сосредоточены в опресненном Таганрогском заливе; *Z.marina* и *Z.noltii* — в юго-западной части Азовского моря, образуя донные фитосообщества в Керченском проливе и Таманском заливе. По нашим наблюдениям, в настоящее время зоны обитания морских трав в Азовском море сужаются: например, *Z.noltii* единично встречается в Ейском лимане, хотя в начале 1980-х годов ее было много [8]. Освободившиеся биотопы захватывают виды пресноводного комплекса цветковых растений.

Результаты наших исследований согласуются с теорией, разработанной В.В.Хлебовичем [16]. Так, при увеличении солености с 5–8‰ (солончатые воды) до 36‰ (соленые океанические) разнообразие водных сообществ возрастает; при солености 5–8‰ пресноводные организмы сменяются морскими; а при 4–5‰ (как в Таганрогском заливе) речные и морские воды смешиваются, что и препятствует формированию устойчивых донных сообществ.

## Перестройки в Каспийском море

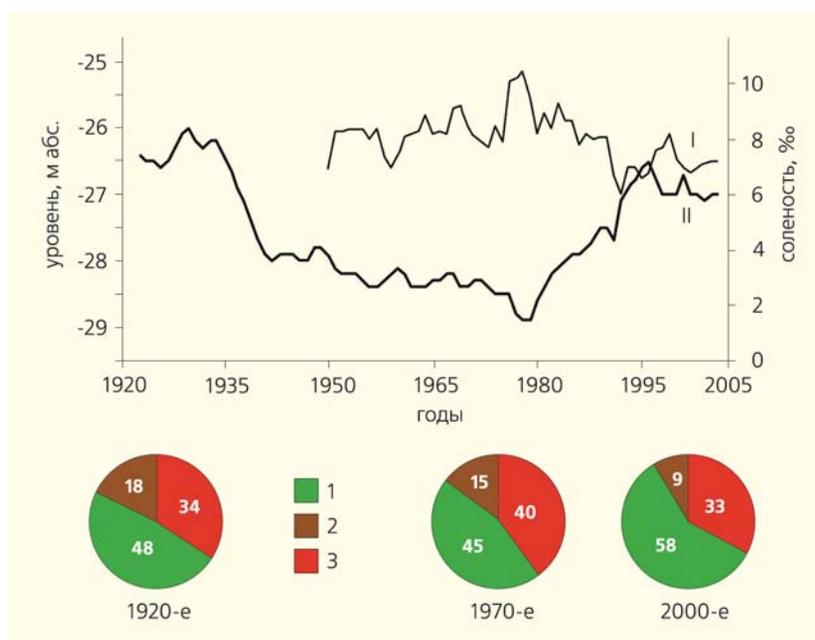
Первые комплексные обследования фитобентоса Каспия проводились Л.И.Волковым еще в 1913–1917 гг. в ходе промысловых рейсов Книповича. Тогда уровень моря был высоким. В 1930–1960-х годах описали состав макроводорослей и морских трав, обнаружили места скопления водной растительности, определили промысловые запасы, изучили биологию и экологию отдельных видов [6, 8]. Все эти исследования проходили на фоне падения уровня Каспийского моря. Последовавшее в конце 1970-х годов повышение его уровня, изменение гидролого-гидрохимических параметров водной среды, снижение солености, усиление эвтрофирования вызвало существенную перестройку экосистемы Северного Каспия. Трансформация отразилась на фитобентосе: изменились пространственное распределение водорослей и трав, видовой состав и продукционные характеристики на отдельных участках акватории, уменьшились запасы [5, 7]. В начале 2000-х годов все прикаспийские страны стали активно осваивать нефтегазовые месторождения на каспийском шель-



Выбросы морской травы zostеры.

фе, при этом усилилась интенсивность крупнотоннажного судоходства. В тот же период в Каспий проник и активно размножился гребневик *Mnemiopsis leidyi*, существенно повлиявший на жизнь морской экосистемы [17].

В 1970-х годах в Каспийском море насчитывалось 63 вида макроводорослей, из них 29 видов зеленых, 13 — бурых и 21 — красных [4]. За последние годы обнаружено 36 видов макроводорослей, 3 вида морских трав [18], возросло количество видов зеленых водорослей. Установлено, что изменившееся соотношение основных групп водорослей зависит от колебаний уровня и солености Каспия. В то же время нужно учесть, что мы не иссле-



Кривые уровня Каспийского моря (I) и солености Северного Каспия (II). Внизу — диаграммы распределения основных групп макроводорослей в Каспийском море: 1 — зеленые, 2 — бурые, 3 — красные.

довали восточную часть Среднего Каспия, которую ранее называли зоной красных водорослей [5]. По видовому богатству макроводорослей Каспийское море занимает промежуточное положение между Азовским и Черным морями [5]. В Северном Каспии больше зеленых водорослей и морских трав, в Среднем и Южном Каспии — зеленых и красных. Основное ядро каспийской флоры составляют зеленые водоросли родов *Enteromorpha*, *Cladophora*, *Ulothrix*, что говорит о значительном влиянии речного стока. Здесь, как и ранее, больше всего красных водорослей рода *Polysiphonia* [4]. Флора Каспия бореальная, а наличие двух эндемичных родов и восьми видов-эндемиков подчеркивает своеобразие этого водоема и его раннюю изоляцию от других частей Средиземноморского бассейна [4].

Разнообразие макроводорослей Каспийского моря способствовало открытию Волго-Донского канала в начале 1950-х годов, а также акклиматизационные работы с беспозвоночными и рыбами. Поселившиеся на Каспии более 50 лет назад макроводоросли сумели занять там главенствующее положение. Один из таких видов — черноморская водоросль атлантического происхождения *Ceramium diaphanum*, которой больше всего в донных и перифитонных сообществах Северного Каспия.

В последние десятилетия новых видов водорослей не находили. Вероятнее всего, это связано с сокращением исследований в постсоветский период, но обнаружить их можно. Основной источник появления новых видов — судоходство, из-за обрастания корпусов судов водорослями и другими морскими организмами и слива балластных вод [11]. Скорее всего, новые водоросли появятся в южной части Каспийского моря и вдоль восточного побережья.

Пониженная соленость, относительная мелководность, хорошая прогреваемость воды, илистые грунты — все эти факторы формируют естествен-



Лауренсия — эндемик Черного моря.

ную высокую биологическую продуктивность Каспийского моря. Обитающие здесь водоросли входят в мезо- и полисапробную группы и представлены однолетними или сезонными видами небольших размеров (до 5—10 см в высоту), с высокой удельной поверхностью таллома. Они быстро растут, производят много спор, дают низкую биомассу и относительно высокую продуктивность. В Среднем Каспии водоросли занимают узкую полосу вдоль береговой линии на глубине до 20 м. На большей части Северного Каспия они не образуют значительных зарослей из-за отсутствия подходящих субстратов для прикрепления и поселяются на травах и харовых водорослях. Неприкрепленные формы некоторых видов зеленых (*Cladophora*) и красных (*Polysiphonia*, *Laurencia*) водорослей могут образовывать обширные скопления в понижениях дна.

Отмеченное в ряде работ для Северного и Среднего Каспия интенсивное развитие зеленых и красных водорослей родов *Enteromorpha*, *Cladophora*, *Ceramium* говорит о возможном увеличении биологической продуктивности морских вод, в том числе благодаря углеводородам [19, 20], ведь нефть на Каспии добывают уже более 100 лет. Однако реальные изменения в донных фитосообществах, обусловленные негативным действием нефти, отмечены только при хроническом нефтяном загрязнении (в Бакинской бухте Апшеронского п-ова). На наш взгляд, увеличение эврибионтных водорослей вызвано понижением солености в последние годы как в Каспийском море в целом, так и в Северном Каспии [18]. Изменение температурного режима северокаспийских вод, видимо, не увеличит комплекс тепловодных водорослей, поскольку суровые зимы повторяются все чаще.

Особенность северной части Каспийского моря — это массовое развитие цветковых водных растений и харовых водорослей. Именно им в заливах Каспийского моря принадлежит главенствующая роль в формировании донных фитоценозов на рыхлых грунтах. Флора морских цветковых растений включает пять видов: *Potamogeton pectinatus*, *Ruppia maritima*, *Zanichellia palustris*, *Zostera noltii*, *Najas marina*. Все они могут обитать в различных условиях окружающей среды, но оптимальны для их вегетации следующие параметры: соленость 8—15‰, температура воды 15—25°C, глубина 0.5—5 м. Харовые водоросли и *P.pectinatus* могут жить в воде с избытком фосфора, причем это не угнетает их рост — напротив, способствует разрастанию. Указания на присутствие в Северном Каспии *Z.marina* в ряде работ [19, 20] ошибочны. В обобщающих сводках [4, 5, 7], как и в нашей работе, отсутствуют упоминания о находках *Z.marina* в каспийских водах. Видимо, астраханские исследователи принимали за *Z.marina* крупные экземпляры *Z.noltii*, которая, согласно нашим наблюдениям, обитает в разных условиях, в том числе



Типичные морские сообщества: черноморских лиманов (вверху) и обрастаний Азова.

при солености и загрязнении. Зачастую *Z.noltii* встречается на загрязненных нефтяными углеводородами илистых грунтах в акваториях с соленостью морской воды до 5‰, где *Z.marina* нормально не развивается.

Водные растения Северного Каспия формируют продуктивные сообщества с высокими величинами биомассы, достигающими 10–12 кг/м<sup>2</sup>. Запасы *Z.noltii* в начале 1940-х годов составляли 700 тыс. т. Более поздних оценок ее запасов нет, но, на основании данных В.В.Громова [7], ориентировочно они могут составить около 200 тыс. т для Северного и западной части Среднего Каспия. Судя по результатам исследований начала 2000-х годов, биомасса *Z.noltii* увеличилась в 1,5–2 раза по сравнению с прежними данными; особенно это заметно в районе Тюленьих о-вов возле казахстанского берега [21]. В связи с колебаниями уровня Каспийского моря изменилось и пространственное распределение макрофитобентоса.

В настоящее время северная часть Каспийского моря занимает около 100 тыс. км<sup>2</sup>, но в период регрессии площадь акватории уменьшалась на 30–40%. Северное побережье Каспийского моря и дельта Волги отличаются малыми уклонами подводного берегового склона и прибрежной суши. Это приводит к осушению значительных площадей в восточной части Северного Каспия при понижении уровня моря, а при повышении — к затоплению. Зоны осушки возникают и под воздействием ветров.

В экосистеме Северного Каспия выделяются три зоны: прибрежная, эстуарная и морская [22]. Границы между ними динамичны, и каждая зона отличается параметрами водной среды. Водная растительность в основном сосредоточена в прибрежной и эстуарной частях. В настоящее время 80% макрофитобентоса, включающего солонowodные и морские травы, ограничена изобатой 5 м. На большей части акватории Северного Каспия средние значения биомассы водных цветковых растений не превышают 0,5–3 кг/м<sup>2</sup> и приходятся на глубины 1–2 м, а максимальные составляют 10 кг/м<sup>2</sup>. Глубже 5 м на песчано-илистом грунте наблюдаются разреженные куртины зеленых и красных водорослей. Несмотря на относительно ровную поверхность дна Северного Каспия, в понижениях накапливаются растительные остатки, до 5–6 кг/м<sup>2</sup> биомассы. Красные водоросли *Polysiphonia* и *Laurencia* на глубинах в 10–15 м образуют на ракушечниках обширные поля, где биомасса более 1 кг/м<sup>2</sup>, но таких участков немного и встречаются они на границе со Средним Каспием и вдоль его западного побережья.

Для оценки влияния уровня моря и сопряженных факторов на пространственное распределение выбраны два массовых вида морских трав — рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus*) и взморник малый (*Zostera noltii*) [18]. Такой выбор обусловлен тем, что местообитания этих

растений при определенных условиях могут перекрываться — как следствие, возникает конкуренция за субстрат, свет и питательные вещества. Были привлечены методы математического моделирования, совмещенные с современными компьютерными технологиями\*. В качестве переменных в модель включены соленость, глубина, биогенные элементы, температура воды, тип грунта. В результате была создана пространственно детализированная математическая модель этих видов, благодаря которой получено распределение биомассы каждого из них в зависимости от переменных и потенциальные зоны их контакта. Согласно модели, при снижении уровня Каспийского моря взморник перемещается на глубины, превышающие 10 м. Граница распространения многолетних водных растений сдвигается в сторону меньших глубин, площадь покрытия уменьшается более чем в два раза. Аналогичная картина описана для лиманов азербайджанского побережья [23]. В 1950–1960-х годах взморник преобладал в донных сообществах, но при снижении уровня моря к концу 1970-х годов полностью исчез, а его место занял рдест. В 2000-х годах после подъема уровня Каспия взморник вновь появился в донных сообществах, но прежних площадей уже не занимал.

Полученные результаты показывают, что естественные факторы, в первую очередь уровень моря и его соленость, влияют на распределение водных растений на акватории Северного Каспия. В настоящее время существует возможность для расширения зоны распространения и увеличения запасов морских трав в Северном и Среднем Каспии. Смогут ли *Z.noltii* занять утраченные акватории, покажут дальнейшие полевые исследования.

\* \* \*

В отличие от Черного моря, в Азовском и Каспийском морях доля тепловодных водорослей заметно не увеличилась. Расширению их ареалов препятствуют суровые зимы, случающиеся на Азовском море, Северном и Среднем Каспии каждые 6–8 лет, когда морские акватории могут находиться подо льдом дольше 100 дней. Наблюдаемая тенденция к расширению зоны обитания зеленых солонowodных водорослей связана с колебаниями солености в водоемах.

В настоящее время в южных морях насчитывается 388 видов макроводорослей (исключая харовые), из них в Черном море — 362, в Азовском — 46, в Каспийском — 70 видов [11]. В сравнении с прошлыми данными [4] количество новых видов увеличилось на треть, в первую очередь за счет красных и зеленых водорослей тепловодного средиземноморского и тропического комплекса (*Cerami-*

\* Математическое моделирование было бы невозможно без помощи С.В.Бердникова и В.В.Сапрыгина, за что автор выражает им искреннюю признательность.

um, *Polysiphonia*, *Laurencia*, *Ulva*, *Cbaetomorpha*), а также бурых водорослей (*Sargassum*, *Cystoseira*). Ареалы холодноводных водорослей, особенно арктобореальной группы, сократились, многие из них стали редкими или исчезли. Число видов макроводорослей в фитогеографических районах Черного моря изменилось, но прежнее районирование [4] сохранилось. В целом в морях умеренного пояса Северного полушария уменьшилось видовое разнообразие холодноводных макроводорослей, а тепловодных — одновременно увеличилось.

Особенную опасность представляют вселенцы, виды-агрессоры, активно расселяющиеся в Средиземном море, — их более 10 (всего таких видов обнаружено больше 100) [23]. На наш взгляд, в Черное море наиболее вероятно проникновение трех видов макроводорослей: *Undaria pinnatifida*, *Sargassum muticum*, *Caulerpa taxifolia*. Первые два из них (*U.pinnatifida*, *S.muticum*) имеют высокую скорость вегетативного размножения и большую экологическую пластичность и способны вытеснить цистозировые водоросли из естественных биотопов. Третий вид, *C.taxifolia*, зеленая токсическая водоросль, подавляет развитие морских трав *Z.marina* и *Z.noltii*. В Средиземном море эти виды уже уничтожили значительную часть подводных лугов и усилили разрушение берегов. По последним данным зарубежных исследователей, *C.taxifolia* уже вплотную подошла к проливу Босфор [24]. Экспансия чужеродных видов макроводорослей, в первую очередь тепловодного комплекса, уже происходит. Вселенцы могут появиться в портах Новороссийска, Туапсе, Констанца, Поти, Одессы, Бургаса, а также в южной и юго-восточной частях Черного моря, включая северокавказское побережье.

Отвечая на вопрос, поставленный в названии статьи, заметим, что человеку сложно противостоять капризам климата,



Чужеродные виды — агрессивные южные вселенцы. Сверху вниз — саргассум, ундария, каулерпа.

но изменения, происходящие в прибрежных экосистемах, должны учитываться в хозяйственной деятельности для минимизации негативных явлений. Необходимо соблюдать более жесткий контроль за морскими перевозками, а также контроль за работами на шельфе (в том числе при освоении нефтегазовых месторождений) со стороны всех

морских государств, особенно в Азово-Черноморском и Каспийском регионах с уникальной флорой и фауной. Итогом нерасторопности может стать оскудение морских богатств и значительные потери как России, так и сопредельных государств, которые будет сложно измерить рублем или долларом. ■

**Исследования поддержаны проектом №01201450487, а также проектами RFMEFI60714X0059 и RFMEFI60414X0050 Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы».**

## Литература

1. Очерки истории Севастопольской биологической станции — Института биологии южных морей (1871—2011) / Отв. ред. Н.В.Шадрина. Севастополь, 2011.
2. Степаньян О.В. Лука Илларионович Волков: к 125-летию со дня рождения // Ботан. журн. 2012. Т.97. №12. С.1589—1599.
3. Зинова А.Д. Определитель зеленых, красных и бурых водорослей южных морей СССР. М.; Л., 1967.
4. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев, 1975.
5. Блинова Е.И. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России. М., 2007.
6. Афанасьев Д.Ф., Корпакова И.Г. Макрофитобентос российского Азово-Черноморья. Ростов-на-Дону, 2008.
7. Громов В.В. Макрофитобентос южных морей России. Водоросли северокавказского побережья Черного моря, прибрежно-водная растительность Азовского моря и Северного Каспия. Saarbrücken, 2012.
8. Никитина В.Н., Лисовская О.А. Макрофитобентос верхних отделов береговой зоны российского побережья Черного моря // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Сер.3. Т.81. СПб., 2013.
9. Теюбова В.Ф. Разнообразие и экологические особенности макрофитобентоса российского сектора Черного моря: Автореферат ... канд. биол. наук. Краснодар, 2012.
10. Борисова Е.В., Бухтиярова Л.Н., Вассер С.П. и др. Разнообразие водорослей Украины // Альгология. 2000. Т.10. №4.
11. Степаньян О.В. Современное разнообразие макроводорослей Азовского, Черного и Каспийского морей // Доклады АН. 2014. Т.458. №2. С.229—232.
12. Milchakova N.A. Marine Plants of the Black Sea. An Illustrated Field Guide. Sevastopol, 2011.
13. Степаньян О.В. Распределение макроводорослей и морских трав Азовского моря, Керченского пролива и Таманского залива // Океанология. 2009. Т.49. №3. С.393—399.
14. Coutinho R. The horizontal distribution of the benthic algae flora in the Patos lagoon estuary, Brazil, in relation to salinity, substratum and wave exposure // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1984. V.80. P.247—257.
15. Дятлов В.Н. К сезонной динамике зообентоса псевдолиторали Азовского моря // Гидробиол. журн. 1968. Т.V. №2. С.58—61.
16. Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов. Л., 1974.
17. Шиганова Т.А., Камакин А.М., Жукова О.П. и др. Вселенец в Каспийское море гребневик *Mnemiopsis* и первые результаты его воздействия на пелагическую экосистему // Океанология. 2001. Т.41. №4. С.542—549.
18. Степаньян О.В. Разнообразие, распределение и продуктивность макрофитобентоса Каспийского моря // Океанология. 2016. Т.56. №3 (в печати).
19. Чиженкова О.А., Камакин А.М., Зайцев В.Ф. Некоторые аспекты развития донных биоценозов северной части Каспийского моря // Вестник АГТУ. Сер. рыбное хозяйство. 2009. №1. С.65—69.
20. Чиженкова О.А., Зайцев В.Ф. Особенности формирования и распределения макрофитов и зообентоса на различных типах грунта в Северном Каспии // Вестник АГТУ. Сер. рыбное хозяйство. 2011. №2. С.69—73.
21. Ушивцев В.Б., Чиженкова О.Л. Распространение фитобентоса в отдельных районах Каспийского моря // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2003 год. Астрахань, 2004. С.139—146.
22. Бердников С.В., Степаньян О.В., Курапов А.А. Воздействие нефтегазового комплекса на экосистему Северного Каспия и экологическое районирование акватории // Современные проблемы аридных и семиаридных экосистем юга России. Ростов-на-Дону, 2006. С.431—451.
23. Караева Н.И., Забержинская Э.Б. Динамика *Zostera noltii* Hornem у азербайджанского побережья Каспия // Висник ОНУ. 2008. Т.13. Вип.4. С.196—199.
24. Boudouresque Ch.F., Verlaque V. Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes // Mar. Poll. Bull. 2002. V.44. P.32—38.

# Хищный клоп периллюс осваивает юг России

В.В.Нейморовец,

кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений  
Санкт-Петербург

Клоп периллюс (*Perillus bioculatus*) — естественный враг колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*). Этот злостный вредитель картофельных полей принадлежит к семейству жуков листоедов Chrysomelidae. Впервые колорадский жук был обнаружен в первой половине XIX в. в Скалистых горах на западе Северной Америки на паслене рогатом (*Solanum rostratum*). Картофель (*S.tuberosum*) тоже относится к семейству пасленовых, но в диком виде это растение в Северной Америке не встречается. Так уж случилось, что южноамериканский по происхождению картофель оказался подходящей пищей для североамериканского жука, первоначально приспособленного к питанию на другом виде растений. В 1859 г. колорадский жук уничтожил посевы картофеля в штате Колорадо, после чего и получил свое название. За полвека этот вид распространился по всему североамериканскому континенту. Несколько раз жука случайно завозили в Европу, но, к счастью, очаги его размножения удавалось быстро уничтожить. И вот, в 1918 г. в истощенную долгой войной Францию прибыл груз картофеля из США. Увы, в тот год французы думали прежде всего о том, как накормить солдат, а не о карантинных мероприятиях — и небольшая поначалу популяция жука в окрестностях г.Бордо положила начало победному шествию вредителя по Европе и Азии.

После окончания Второй мировой войны вредитель проник на территорию стран Восточной Европы. В 1950-х годах в распространении колорадского жука на восток видели происки Запада, направленные на подрыв экономики социалистических стран. Населению Польши и ГДР объясняли,



Паслен рогатый — североамериканское растение, на котором впервые был обнаружен колорадский жук.

Фото Р.Хилле (R.Hille)

что ЦРУ специально рассевает жуков с воздушных шаров и планеров. В ГДР для жука было придумано название «Amerikanischer Käfer» (американский жук), или «Amikäfer». В ГДР и Польше расклеивались плакаты, на которых полчища агрессивных жуков, раскрашенных в цвета американского флага (бело-красные полосы на надкрыльях вместо черно-оранжевых и синяя переднеспинка), ползли через границы стран социалистического лагеря.

Увы, североамериканские непрошеные гости не нуждались в специальных средствах распространения — взрослые особи способны летать, да и в воде они не тонут. Все это способствовало расселению колорадского жука. Летом 1958 г. сильные западные ветра занесли жуков из Венгрии и Словакии на Украину, а волны Балтийского моря прибили оранжевую кашу из миллионов жуков «польского происхождения» к берегам Калининградской области и Литвы. Дальнейшее продвиже-



Красно-черная, оранжево-черная и беловато-черная морфы клопа периллюса. Это хищное насекомое — естественный враг колорадского жука. Изначально клоп периллюс, вероятно, обитал в предгорьях Скалистых гор, а затем его ареал расширился вслед за колорадским жуком.

Здесь и далее фото автора

ние полосатой армии по территории СССР на восток происходило не без участия человека. Во время засухи 1975 г. составы, перевозившие украинское сено и солому для корма скота, доставили жуков на Урал. Сейчас этот вредитель встречается на плантациях картофеля в Сибири и даже в Приморском крае.

Какие только меры не применялись для уничтожения жуков! Широкомасштабное использование различных пестицидов не привело к успеху. Сельхозпроизводители были вынуждены постоянно менять ассортимент препаратов, поскольку очень скоро выяснилось, что ко многим из них у колорадских жуков быстро вырабатывается устойчивость. В последние годы большие надежды возлагаются на использование генетически модифицированных сортов картофеля. В их геном методами генетической инженерии вводят ген токсина от бактерии *Bacillus thuringiensis*, смертельного для колорадского жука. Однако через некоторое время жуки вырабатывают устойчивость и к этому токсину. Вот почему биологи не оставляют попыток использовать против колорадского жука другую разновидность «биологического оружия» — его естественных врагов.

В Северной Америке у колорадского жука, разумеется, есть враги, например хищные виды насекомых, которые питаются его яйцами, личинками или взрослыми особями. К числу таких хищников относится, в частности, клоп периллюс. Это довольно крупное насекомое с размерами тела до 10–12 мм и яркой и весьма изменчивой окраской. Клопы вооружены длинным мощным хоботком, который они вонзают в личинок колорадского жука и высасывают жертву. Первоначальным ареалом этого хищника, вероятно, как раз и были юго-восточные предгорья Скалистых гор, где на рогатом паслене обитал колорадский жук. Впоследствии клоп периллюс расширил свой ареал на восток вслед за распространением колорадского жука [1].

Уже в 1930-х годах начались первые работы по акклиматизации этого клопа в Европе с целью использования его как средства борьбы с колорадским жуком [2]. Из-за Второй мировой войны работы были приостановлены, но в 1960-х годах была создана международная группа, в которую вошли исследователи из Бельгии, Болгарии, Венгрии, Польши, Чехословакии, ФРГ и других стран [3]. Одно из направлений работы группы — разведение и выпуск клопов периллюсов с целью акклиматизации. Эти опыты проводились в 1960–1970-х годах и в СССР, но оказались неудачными: выпущенные на волю клопы не смогли адаптироваться к жизни в новых условиях. Несколько дольше проводились опыты по так называемой периодической колонизации. Клопов разводили в лабораторных условиях, а затем в нужное время выпускали на поля для подавления численности вредителя. Этот метод оказался нерентабельным. Работы были прекращены, и о периллюсе надолго забыли.

И вот, совершенно неожиданно в сентябре 2007 г. на опытных участках Всероссийского научно-исследовательского института биологической защиты растений (ВНИИБЗР) в Краснодаре был найден самец периллюса [4], а в мае 2008 г. — обнаружено большое скопление личинок этого вида. Как оказалось, личинки клопов питались яйцами и личинками другого представителя семейства жуков листоедов — амброзиевого листоеда (*Zygogramma suturalis*), завезенного в СССР из США и Канады для борьбы с амброзией (*Ambrosia artemisiifolia*). Это сорное растение американского происхождения, пыльца которого вызывает тяжелые формы аллергии у людей, попало в Европу в XIX в. При поедании амброзии коровами молоко приобретает неприятный вкус и запах и становится непригодным к использованию.

В 2011 г. в наш институт поступило сообщение, что в окрестностях Славянска-на-Кубани (Краснодарский край) на одном из фермерских полей с картофелем обнаружены яйца и личинки клопа периллюса. Приехав на место, я обнаружил личинок периллюса III—V возрастов, высасывающих личинок колорадского жука. Интересно, что ни на этом поле, ни в ближайших окрестностях не было



Амброзиевый листоед.

амброзии и питающегося на ней амброзиевого листоеда. Личинки клопов были найдены также и на другом поле с картофелем, в нескольких километрах от первого, тоже в отсутствие амброзии (с амброзиевым листоедом). Вероятно, личинки колорадского жука были в этих местах единственной пищей для клопов периллюсов.



Личинки клопа периллюса и колорадского жука. Хищный клоп предпочитает нападать на жертву в юном возрасте (слева сверху), поскольку подросшая личинка колорадского жука способна активно сопротивляться (внизу). Взрослые клопы (справа), высасывая личинку, часто располагаются на растении таким образом, чтобы висящая на хоботке добыча, пока она жива, не могла ни за что уцепиться ногами.



Взрослый клоп периллюс, высасывающий яйца колорадского жука (слева) и его взрослую особь.

По наблюдениям, личинки клопов периллюсов предпочитают питаться яйцами и личинками колорадского жука младших возрастов — видимо, так с ними легче справиться. В действительности личинок старших возрастов одолеть не так просто: они активно сопротивляются, пытаются уползти от преследования и даже могут схватить нападающего клопа за хоботок, пока тот ощупывает тело

жертвы, прежде чем пронзить добычу. Крупные личинки колорадских жуков в состоянии выдержать несколько уколов хоботком. Личинки клопов часто нападают совместно, а взрослые (имаго, крылатые особи) периллюсы могут и в одиночку одолеть личинку колорадского жука даже последнего возраста. При этом клопы, высасывая личинку жука, часто располагаются на растении таким образом, чтобы



Копулирующая пара клопов периллюсов (а), личинки разного возраста — только что родившиеся (б) и I возраста (в; личинки пробуют на вкус яйца колорадского жука), уже окрыленный клоп периллюс (г; рядом с личиночной шкуркой и потенциальной жертвой).

висящая на хоботке добыча, пока она жива, не могла ни за что уцепиться ногами. Взрослые клопы периллюсы также очень активно уничтожают яйца, отложенные колорадскими жуками [5]. Взрослый клоп дважды был замечен кормящимся на имаго колорадского жука, но неизвестно — клопы убили жуков или они высасывали экземпляры, погибшие по другим причинам.

В конце июня клопы нового поколения приступили к спариванию. Через три-четыре дня были отмечены кладки яиц клопа периллюса. Они располагались на нижней стороне листьев картофеля в два-три ряда, недалеко от яйцекладок колорадского жука. Яйца черные, блестящие, диаметром около 1 мм. В обнаруженных яйцекладках насчитывалось от 12 до 25 яиц. Развитие яиц продолжалось от двух до четырех дней. После вылупления личинки I возраста примерно сутки держались кучкой около пустой яйцекладки, после чего линяли, превращаясь в личинку II возраста. Ранее считалось, что личинки I возраста не питаются, однако на фотографии видно, что они пробуют яйца колорадского жука на вкус. По моим наблюдениям личинкам II возраста достаточно было однократного питания для перехода в следующий возраст. Прожорливость личинок с каждой линькой возрастала. Примерно через две недели появились имаго клопов периллюсов второго поколения. К этому времени личинки колорадского жука также уже заканчивали свое развитие и уходили в почву для окукливания. Появившиеся колорадские жуки второго поколения впали в летнюю диапаузу.

4 июля 2011 г. между поселком Ильский и хутором Красный (примерно в 30 км от Краснодара и 50 км от Славянска-на-Кубани) была обнаружена еще одна личинка периллюса V возраста во время обследования поля с озимой пшеницей, засоренного амброзией. Личинка на следующий день перелиняла в имаго. Это третье местонахождение клопа *P.bioculatus* на территории Краснодарского края. А через год автор этих строк получил сообщение от сотрудников ВНИИБЗР о находке клопов периллюсов в окрестностях Крыма и Майкопа.

На основе всех этих данных можно заключить, что клоп периллюс успешно натурализовался и широко распространился в Краснодарском крае и в республике Адыгея. Наблюдения 2011 г. показали, что на территории края клопы могут питаться колорадским жуком на всех стадиях развития (кроме диапаузирующих в почве). Прослежена также определенная синхронизация между развитием клопа и развитием колорадского жука. Имаго нового (первого) поколения у обоих видов появляются или одновременно, или у периллюса — чуть раньше. Вероятно, этот период — самый эффективный в использовании клопа против колорадского жука: почти все его яйцекладки, найденные 20 июня, оказались уничтоженными. Можно предположить, что клопы наиболее эффективно «работают» против второй генерации колорадского жука.



Совместная трапеза паука-краба (*Xysticus cristatus*) и клопа периллюса. Каждый старался притянуть добычу к себе; временами соперники топтались друг по другу, но никто не хотел уступить.

В настоящее время трудно установить, каким образом в Краснодарском крае появились периллюсы. Возможно, это потомки клопов из тех лабораторных культур, которые пытались акклиматизировать на территории Краснодарского края в 1970—1980-х годах. Не исключено однако, что клопы попали сюда из западных областей Турции,



Фазия пестрая (*Ectophasia crassipennis*), паразитирующая на клопах. Эту муху и оболочку пупария я обнаружил, когда чистил банку после временного содержания в ней клопов периллюсов. Несколько имаго погибли, но я не знал почему. Очевидно, что причиной гибели одного из клопов послужила личинка мухи фазии, хотя на нем не было видно никаких повреждений. Выходя из тела хозяина, личинка фазии выделяет специфические вещества, затем выламывает генитальный сегмент хозяина, что и приводит к его гибели. Но несколько раз я видел, как личинка фазии, выходя из тела клопа вредная черепашка, не выламывала генитальный сегмент, а выдвигала, после чего он становился на место (снаружи трудно было разглядеть повреждение), хотя клоп все равно погибал в течение суток. Таким образом, у периллюсов уже имеются враги из числа местных энтомофагов.

где устойчивые природные популяции отмечаются с 2003 г. [6–8], или из Греции [1]. Допустимо предположение, что появление популяций клопа периллюса в Краснодарском крае — одно из следствий изменений климата, происходящих в по-

следние годы. Дальнейшие исследования позволят ответить на эти вопросы и понять, в какой мере популяции клопа периллюса могут контролировать численность колорадских жуков на полях Краснодарского края. ■

## Литература

1. Rabitsch W. True Bugs (Hemiptera, Heteroptera) // Alien Terrestrial Arthropods of Europe / Eds A.Roques, M.Kenis, D.Lees, C.Lopez-Vaamonde, W.Rabitsch, J.-Y.Rasplus, D.B.Roy. Sofia; Moscow, 2010. P.407—413.
2. Ижевский С.С., Зискин Л.А. Перспективы использования интродуцированных хищных клопов *Perillus bioculatus* (Fabr.), *Podisus maculiventris* (Say.) и *Oplomus nigripennis* var. *Pulcher* (Dull.) (Hemiptera, Pentatomidae) против *Leptinotarsa decemlineata* Say. (Chrysomelidae, Coleoptera) // Биологическое подавление карантинных вредителей и сорняков. М., 1981. С.20—37.
3. Исмаилов В.Я., Агасьева И.С. Хищный клоп *Perillus bioculatus* F. Новый взгляд на возможности акклиматизации и перспективы использования // Защита и карантин растений. 2010. №2. С.30—31.
4. Исмаилов В.Я., Есипенко Л.П., Агасьева И.А. и др. Хищный клоп *Perillus bioculatus* (F.) (Hemiptera, Pentatomidae): результаты акклиматизации и новые перспективы // Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем. Материалы V Международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений, перспективы и роль в фитосанитарном оздоровлении агроценозов и получении безопасной сельскохозяйственной продукции». Краснодар, 2008. Вып.5. С.114—116.
5. Нейморовец В.В., Новохацкая Л.Л. Новые находки клопа *Perillus bioculatus* (Fabricius, 1775) в Краснодарском крае // Защита и карантин растений. 2012. №6. С.23—24.
6. Fent M., Aktaş N. Die Verbreitung des *Perillus bioculatus* (Fab.) (Heteroptera: Pentatomidae: Asopinae) im türkischen Teil Thrakiens // Heteropteron. Mitteilungsblatt der Arbeitsgruppe Mitteleuropäischer Heteropterologen. Heft Nr. 25. Köln, 2007. P.7—9.
7. Kivan M. Some observations on *Perillus bioculatus* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae) a new record for the entomofauna of Turkey // Turkish J. Entomol. 2004. V.28. P.95—98.
8. Patrick De Clercq. Two-Spotted Stink Bug, *Perillus bioculatus* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae, Asopinae) // Encyclopedia of Entomology / Ed. J.L.Capinera. Dordrecht; London, 2008. P.4004—4006.

# Разрезы, спрессовавшие время

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе  
Москва

Разрезы осадочных горных пород справедливо сравнивают с каменной книгой. На отдельных слоях, словно на стилизованных листах бумаги, природой зафиксирована история Земли. В тех случаях, когда мощности разновозрастных слоев значительны, история оказывается написанной крупным, понятным шрифтом, с использованием больших междустрочных интервалов. Содержащиеся в разрезах ископаемые остатки и другие особенности достаточно легко интерпретировать. Однако известны случаи, ког-

да в силу ряда причин размер шрифта и междустрочных интервалов для некоторых отрезков геологической летописи становится минимальным. Отдельные слова, предложения и целые страницы сливаются. Читать такой «текст» необыкновенно трудно. Речь идет об удивительных конденсированных разрезах, «спрессовавших» время особенно сильно.

В последние годы наибольший вклад в переосмысление понятий «конденсация» и «конденсированные разрезы», которые в геологической литературе трактуются различным образом, внес Е.Ю.Барабошкин [1, 2]. Согласно новым данным,

под конденсированными разрезами понимаются аномально маломощные, номинально полные разрезы, охватывающие значительные стратиграфические интервалы (несколько био-стратиграфических зон, подъярус, ярус), которые сформировались при резком замедлении темпа осадконакопления и прерываются эпизодами ненакопления, эрозии или иными перерывами [1, 2]. Не следует считать синонимом понятия «конденсированный разрез» термин «горизонт конденсации», часто встречающийся в публикациях, так как он характеризует стратиграфические подразделения, содержащие беспорядочный перетолженный комплекс ископаемых остатков.

Конденсированные разрезы значительно более разнообразны, чем считалось ранее. Сейчас выделяется четыре их типа: мелководные (неритовое\* мелководье и прибрежные части бассейнов с дефицитом осадков, а также бассейны, возникающие при трансгрессиях); гемипелагические и пелагические мелководные (эпиконтинентальные бассейны, неглубокие подводные поднятия); гемипелагические (транзитные склоны глубоководных бассейнов, где осадки довольно быстро переносятся к основанию континентального склона) и пелагические глубоководные (абиссаль, глубоководные возвышенности) [1].

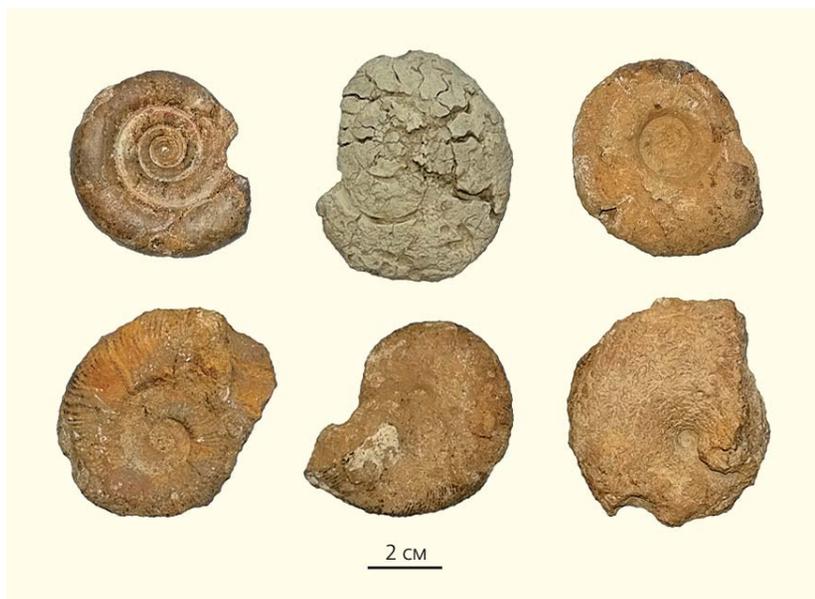
Механизмы образования конденсированных разрезов сложны. К их формированию приводят различные сочетания следующих основных четырех факторов [1], перечисленных ниже.

**Механическая конденсация:** эрозия, вымывание тонкообломочных осадков, перераспределение грубообломочного материала в условиях повышенной гидродинамики (волновая активность, течения), осаждение фоновых осадков в условиях вялой ги-

\* Неритовая область — мелководная (до 200 м) часть моря с достаточным для жизни растительных организмов количеством солнечного света; охватывает литоральную и сублиторальную области.



Уникальный конденсированный разрез верхнего готерива и баррема. Горный Крым, Бахчисарайский р-н, окрестности с.Верхоречье.



Аммониты — лучший инструмент расшифровки строения конденсированных разрезов. Горный Крым, Бахчисарайский р-н, окрестности с.Верхоречье. Коллекция В.Н.Комарова.

Фото В.Н.Комарова

дродинамики или в неподвижной воде, уплотнение осадка.

**Химическая и биохимическая конденсация:** растворение и минеральное замещение, образование аутигенных (*in situ*) минералов (глауконита, фосфоритов и др.). Особенно важную роль данный механизм конденсации играет в океанах

там, где происходит растворение карбонатов ниже критической глубины карбонатонакопления.

*Биотическая конденсация:* поедание, биотурбирование, биоэрозия, инкрустация.

*Ненакопление,* характеризующееся отсутствием поступления осадка на дно. Причины ненакопления могут быть различными (перенос осадка в суспензии, поедание органического детрита еще в столбе воды и др.).

На мелководье развитие конденсированных разрезов контролируется главным образом темпом привноса обломочного материала (особенно в высоких и средних широтах) и скоростью карбонатонакопления (в низких широтах). В глубоководных областях образование таких разрезов почти исключительно зависит от скорости планктоногенной седиментации. Их формирование связано с изменениями уровня Мирового океана, а также с существенными климатическими перестройками. В разных сценариях акватории реагируют на эти процессы по-разному, и потому наиболее активное развитие конденсированных разрезов происходит то в мелководных областях, то, наоборот, в глубоководных.

Какова скорость образования подобных разрезов? В данное время она считается равной 0.5–1 см за тысячу лет; кроме того, предлагается выделять и сверхконденсированные разрезы, скорость формирования которых составляет менее 0.5 см за тысячу лет [1]. Следует отчетливо представлять, что речь здесь идет о средних значениях скорости осадконакопления, так как они суммируются из эпизодов полного ненакопления, эрозии и интервалов сравнительно активной седиментации, часто превышающей 1 см за тысячу лет.

Конденсированные разрезы широко распространены в различных по возрасту отложениях во многих районах Евразии, Африки и в других местах. Один из наиболее хорошо изученных среди них — мелководный гемипелагический разрез цефалоподовых известняков в Юго-Западном Крыму, в окрестностях с.Верхоречье.

Возраст цефалоподовых известняков, представляющих собой терригенно-карбонатную пачку мощностью немного более 1 м, ранее считался исключительно раннебарремским. В результате проведенного в последние годы переизучения нижнемеловых разрезов Юго-Западного и Центрального Крыма, сопровождавшегося детальными послойными сборами ископаемых остатков и тщательной ревизией ранее составленных палеонтологических коллекций, биостратиграфическую схему указанных районов существенно пересмотрели [3, 4]. Выяснилось, что цефалоподовые известняки представляют собой единый конденсированный разрез, в состав которого входят породы почти всего верхнего готерива (без нижней зоны *Crioceratites duvali*), нижнего баррема и низов верхнего баррема. Во всех них по находкам видов-индексов и сопутствующих форм установлена номинально полная аммонитовая зональная последовательность. Головоногие моллюски встречаются здесь преимущественно в виде внутренних ядер, которые залегают параллельно или субпараллельно слоистости, подчиняясь стратификации (более древние находятся чуть ниже по слою). Как правило, верхняя часть ядер растворена и покрыта лимонитовой коркой, что характерно для длительно формировавшегося твердого дна. Иногда с внешней (экспонированной некогда на дне бассейна) стороны ядер наблюдаются обрастания серпулидами и следы сверления литофагов.

Изучение конденсированных разрезов очень интересно с многих позиций. Они маркируют важные эпизоды геологической истории палеобассейнов, связанные с перестройками различного характера, и служат хорошими региональными корреляционными реперами; к ним приурочены месторождения фосфоритов, глауконитов и ряда других полезных ископаемых. Успешное выявление конденсированных разрезов и расшифровка их строения — блестящий пример сокращения неполноты стратиграфической летописи, серьезно затрудняющей восстановление геологической истории Земли [5, 6]. ■

## Литература

1. *Барабошкин Е.Ю.* Конденсированные разрезы: терминология, типы, условия образования // Вестн. МГУ. Сер.4. Геология. 2009. №3. С.13–20.
2. *Барабошкин Е.Ю., Веймарн А.Б., Копачевич Л.Ф., Найдин Д.П.* Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки. Методические рекомендации. М., 2002.
3. *Барабошкин Е.Ю.* Новые данные по стратиграфии готеривских отложений в междуречье Кача-Бодрак // Очерки геологии Крыма. Тр. Крымского геол. научно-учебного центра. 1997. Вып.1. С.27–53.
4. *Барабошкин Е.Ю.* Новая стратиграфическая схема нижнемеловых отложений междуречья Качи и Бодрака (Юго-Западный Крым) // Вестн. МГУ. Сер.4. Геология. 1997. №3. С.22–29.
5. *Комаров В.Н.* О неполноте геологической летописи. Статья 1. Взгляды Чарльза Дарвина и современность // Известия вузов. Геология и разведка. 2010. №3. С.3–9.
6. *Комаров В.Н.* О неполноте геологической летописи. Статья 2. Об успехах в сокращении неполноты и не только // Известия вузов. Геология и разведка. 2010. №4. С.3–9.



гии, принятой в микробиологии, они — анаэробные гетеротрофы. Это означает, что данные бактерии существуют только в средах, где отсутствует свободный кислород, и получают энергию за счет усвоения готовых органических веществ. Главная физиологическая особенность СВБ — использование кислорода молекулы сульфата ( $\text{CaSO}_4$ ) при утилизации (окислении) органического вещества (ОВ). Для извлечения кислорода из этой химически очень прочной молекулы необходимо затратить большую часть энергии, которую СВБ получают, усваивая ОВ. Вовлечение сульфатов в жизненный цикл СВБ сопровождается изменением валентности серы. Положительная шестивалентная сера в молекуле сульфата переходит в отрицательную двухвалентную. Такие реакции называют окислительно-восстановительными:  $\text{S}^{6+} \rightarrow \text{S}^{2-}$ . Двухвалентный ион серы ( $\text{S}^{2-}$ ) реагирует с ионом водорода ( $\text{H}^+$ ), который всегда присутствует в природных водах в результате диссоциации воды, образуя сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Именно с этого момента возникают геохимические и минералогические последствия жизнедеятельности СВБ: поддерживается восстановительная среда, определяющая ход многих природных химических реакций, и возникают «биогенные» сульфиды металлов, в том числе пирит. Заметим, этот вывод касается только пирита, сформировавшегося в относительно низкотемпературных условиях. Дисульфид железа образуется и при высокотемпературных глубинных процессах, но это уже другая геохимия. Геологи давно обращали внимание на участие бактерий в геологических процессах. Имеется даже раздел учебных программ «Геологическая деятельность микроорганизмов». Но мне думается, что СВБ по масштабу их вклада в природные и антропогенные события заслуживают специального внимания.

За счет производимого СВБ сероводорода образуется не только пирит, но и другие осадочные сульфиды: кобальта, никеля, меди, цинка, ртути. Часто такие ассоциации сульфидных минералов (в которые всегда входит и пирит) формируют месторождения, называемые полиметаллическими. Условия образования осадочных сульфидных месторождений — тема, требующая специальной публикации. Здесь эти вопросы мы рассматривать не будем.

В исследование физиологии и экологии сульфатвосстанавливающих бактерий большой вклад внесли отечественные микробиологи и геохимики Б.Л.Исаченко, В.О.Таусон, С.И.Кузнецов, М.В.Иванов, И.И.Волков и др. [2—6].

В донных осадках морей, рек и озер СВБ способствуют возникновению сероводородного заражения. Пример — мощная (начиная со 160 м от поверхности и около 2 км до дна) толща сероводородного заражения Черного моря. Эта огромная по объему масса воды почти безжизненна, так как насыщающий ее сероводород чрезвычайно токсичен. В то же время благодаря СВБ и серово-

дороду в донных отложениях некоторых озер образуются лечебные грязи, обладающие ценными медицинскими свойствами. В РФ наиболее известны уникальные сульфидные (точнее, моносульфидные) черные лечебные грязи Тамбуканского озера, расположенного в районе курортов Кавказских минеральных вод. Они эффективно используются в лечении многих заболеваний, не уступая донным илам Мертвого моря.

Несколько слов о моносульфиде. Дисульфид железа может формироваться при участии микробиогенного сероводорода «в момент рождения»: кристаллики пирита иногда обнаруживаются даже в клетках живых бактерий. Но чаще возникновению пирита предшествует переходная стадия — моносульфид железа  $\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Это коллоидное минеральное образование черного цвета, обладающее очень сильными красящими свойствами. Именно из-за его присутствия (даже в мизерных количествах) донные осадки (илы) зоны сероводородного заражения имеют черный цвет.

Благодаря сероводороду, который генерировали сульфатвосстанавливающие бактерии, обитавшие в древних (ископаемых) торфяниках, образовывались высокосернистые угли. Речь идет о пирите, рассеянном в органическом веществе углей, что и создает препятствие для их использования во многих промышленных технологиях (например, в производстве металлургического кокса, так как сера серьезно снижает механические свойства выплавляемого железа). Аналогичные природные условия привели и к формированию месторождений высокосернистых горючих сланцев. Пример — Волжский сланцевый бассейн. Несмотря на выгодное географическое положение этих месторождений, большое содержание серы в здешних сланцах делает крайне сложным их использование в энергетике.

Кроме того, горючие ископаемые с высоким содержанием серы — вероятно, самые мощные загрязнители атмосферы. На современных тепловых электростанциях при высоких температурах сжигания топлива пирит разлагается, образуя оксиды серы, которые обладают сильным негативным воздействием на организм человека при вдыхании воздуха.

Пирит и моносульфид железа служат надежными фациальными указателями палеогеографических условий древнего осадконакопления. Присутствие того или другого в осадочных горных породах или горючих полезных ископаемых говорит о восстановительной среде их формирования. А это, в свою очередь, уже по материалам геологической разведки, позволяет прогнозировать многие важные показатели качества и минерального состава полезных ископаемых, а в отношении горючих — вероятные технологические свойства, рациональные направления промышленного использования, ассоциации ценных попутных химических элементов.



Псевдоморфоза пирита по раковине аммонита.



Пирит (белый) в клетках растительной ткани. Увел. 300.

Псевдоморфозы пирита по различным органическим объектам (раковинам моллюсков, тканям и клеткам растений и животных) представляют определенный научный интерес. Напомним, СВБ — гетеротрофы, т.е. нуждаются для поддержания жизнедеятельности в готовых органических веществах. Микроскопические исследования показывают, что образование пирита происходит путем последовательного усвоения сульфатвосстанавливающими бактериями органических соединений и замещения отдельных клеток и даже отдельных элементов клеток организмов моносульфидом, а в дальнейшем и дисульфидом железа. В результате образуются псевдоморфозы, иногда очень тонко сохраняющие не только внешний облик организмов, но и мельчайшие детали их анатомического строения. Примеры такого рода можно найти во многих минералогических музеях и в научных публикациях. Уникальная пиритная псевдоморфоза — «золотой человек» — тело шахтера XIII в. (который упал в трещину горного массива и был обнаружен спустя 70 лет), полностью замещенное пиритом. Об этом событии стало известно из шахтных хроник. Сама же псевдоморфоза не сохранилась и остается объектом сомнений и научных дискуссий.

Замечательное свойство СВБ — способность фракционировать изотопы серы. Главные по распространности из четырех стабильных изото-

пов серы —  $S^{34}$  (тяжелый изотоп) и  $S^{32}$  (легкий). Последний усваивается СВБ предпочтительнее, и поэтому биогенный сероводород обогащается  $S^{32}$ . Это обстоятельство используется в геохимии при решении важных вопросов генезиса соединений серы и содержащих ее минеральных и органических веществ.

И наконец, в «Природе» в 2007 г. была опубликована моя статья, в которой излагалась версия происхождения жизни на Земле при участии фрамбоидальных форм пирита. Если тема заинтересует читателей, можно познакомиться с описанием таких фрамбоидов и аргументацией в пользу их возможного участия в первичном концентрировании органического вещества в водах древнего океана\*.

Подведем итог. Несмотря на то что мы рассмотрели далеко не все последствия деятельности сульфатвосстанавливающих бактерий, вряд ли можно найти еще какую-либо группу микроорганизмов, которая имела бы столь разнообразные приложения к практическим и научным проблемам человека. Эти примеры иллюстрируют многочисленные дела маленьких существ, которые появились в биосфере более 3 млрд лет назад (долгожители Земли!). Времени с тех пор для великих свершений у них было достаточно. ■

\* Кизилыштейн Л.Я. Фрамбоидальный пирит причастен к возникновению жизни на Земле? // Природа. 2007. №1. С.49—54.

## Литература

1. Таусон В.О. Великие дела маленьких существ. М.; Л., 1948.
2. Исаченко Б.Л. О задачах изучения геологической деятельности микроорганизмов // Избр. труды академика Б.Л.Исаченко. Т.2. М.; Л., 1951.
3. Кузнецов С.И. Геологическая деятельность микроорганизмов (Основные результаты и задачи исследования) // Вестн. АН СССР. 1959. №2. С.30—33.
4. Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликowa Н.Н. Введение в геологическую микробиологию. М., 1962.
5. Иванов М.В., Леин А.Ю. Распространение микроорганизмов и их роль в процессах диагенетического минералообразования // Геохимия диагенеза осадков Тихого океана. М., 1980. С.117—137.
6. Волков И.И. Геохимия серы в осадках океана. М., 1984.

# Комфортна ли погода Водлозерья?

Научные сообщения

*Наше северное лето, карикатура южных зим...*

А.С.Пушкин

Л.Е.Назарова,  
кандидат географических наук  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Е.В.Кузнецова  
ГБУ «Информационный туристский центр Республики Карелия»  
Петрозаводск

В 1991 г. на территории Республики Карелия и частично в Архангельской обл. был создан национальный парк «Водлозерский». Под особую защиту государства попала отдаленная, труднодоступная, малоосвоенная и почти не заселенная территория на Русском Севере площадью 5 тыс. км<sup>2</sup>. Здесь чудом сохранились девственные леса и чистые озера, первозданная природа и богатейшее культурное наследие. Водлозерский парк — один из крупнейших в мире резерватов

дикой природы [1]. Кроме научных исследований и экологического мониторинга, природоохранной и эколого-просветительской деятельности сотрудники парка уделяют значительное внимание развитию туризма. Наиболее привлекательны и доступны для отдыхающих р.Илекса и оз.Водлозеро с его многочисленными островами.

В прошлые века эта территория была весьма плотно заселена. По берегам озера и на островах располагалось более 40 деревень. На месте некоторых из них сегодня сохранились отдельные дома, после создания национального парка переобо-

© Назарова Л.Е., Кузнецова Е.В., 2016



Водлозеро — крупнейший водоем национального парка.

Здесь и далее фото Е.В.Кузнецовой

рудованные в туристские приюты. Там же, где поселения исчезли, но сохранился хороший берег и красивый вид на озеро, обустроены стоянки для палаточных городков.

Территория парка привлекательна для туристов практически круглый год, исключая время ледостава (чаще конец ноября — начало декабря), и весеннего освобождения озер и рек ото льда (обычно в середине апреля). Особенно популярными стали сплавы на каноэ, катамаранах, байдарках по рекам Илекса и Вама, отдых на островах на оборудованных площадках и в гостевых домах — в летнее время, рыбалка — практически в течение всего года, сафари на снегоходах — зимой и весной. Перспективными для парка могут стать лыжные и пешеходные маршруты, однако пока они не нашли большого количества почитателей по ряду объективных причин.

Сейчас на территории национального парка находится один населенный пункт — деревня Куганаволок, в которой проживает около 500 человек. Кроме того, на берегах и островах озера, в официально несуществующих деревнях, таких как Варишпельда, Пелгостров, Канзанаволок, Малый Колгостров, тоже живут отдельные семьи — постоянно, либо только в летний период. В 2006 г. на о.Малый Колгостров была открыта Свято-Ильинская Водлозерская пустынь, в которой живут несколько монахов. В течение года здесь бывает много трудников и паломников. Большой наплыв посетителей отмечается во время праздника Ильина дня, традиция праздновать который возродилась здесь с созданием национального парка. Много туристов-рыбаков из разных регионов России приезжают на уже ставший традиционным рыболовный фестиваль. Кроме того, на территории парка регулярно проводятся научные экспедиции, проходят пленэры у студентов-художников из столичных вузов, различные творческие коллективы записывают здесь фольклорную музыку в «естественной среде».

Большинство туристов приезжает в национальный парк самостоятельно (дикарем), тем не менее все они находятся в поле зрения сотрудников парка, которые в случае необходимости обязательно окажут помощь. К основным факторам риска для жизни и здоровья здесь относятся, безусловно, большие водные пространства озера, многочисленные обширные болота, а также возможная резкая перемена погоды.

Погода оказывает немалое влияние на все виды деятельности местных жителей. От нее зависят сенокосы, посадки огородных культур и возмож-



Архитектура дер.Варишпельда.

ность получить хороший урожай. Туристы, конечно, также предпочитают отдыхать при хорошей погоде. В связи с этим мы задались целью определить, насколько погодные условия окрестностей Водлозера комфортны для жизни и отдыха.

Для этого мы сделали попытку оценить в комплексе ряд климатических характеристик. Очевидно, что действие на человека отдельных фак-



Часовня в дер.Канзанаволок.

торов — температуры воздуха, давления, влажности и т.п. — неидентично влиянию на него всего погодного комплекса. Согласно определению, приведенному в «Экологической климатологии» [2], комфортной можно считать погоду, когда сочетание метеорологических величин таково, что здоровый человек не испытывает ни жары, ни холода, ни духоты, т.е. чувствует себя наилучшим образом.

На основе различных сочетаний температуры воздуха, скорости ветра и облачности выделяется несколько типов погоды. Так, Н.А.Данилова, используя в качестве основы физиолого-климатическую типизацию И.С.Кандрора, разработала оценочную шкалу для определения типа и благоприятности рекреационной погоды для летнего отдыха. В зависимости от сочетания величин метеорологических параметров (температуры воздуха, облачности в баллах, скорости ветра, а также количества и интенсивности выпадения атмосферных осадков) выделяются пять типов погоды: холодная дискомфортная, прохладная субкомфортная, комфортная, жаркая субкомфортная и жаркая дискомфортная [3].

Анализ климатических характеристик территории Водлозерья проводился по данным метеорологической станции Пудож Северо-Западного территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Использовались результаты наблюдений с 1950 по 2013 г. Для проведения оценки комфортности климата были использованы данные срочных на-

блюдений за период с 2000 по 2013 г. Также для составления общей характеристики климата привлекались данные наблюдений на метеостанции Куганаволок, закрытой в мае 2003 г.

Для начала мы проанализировали многолетние метеорологические данные, чтобы определить особенности климата территории. Общая картина выглядит следующим образом.

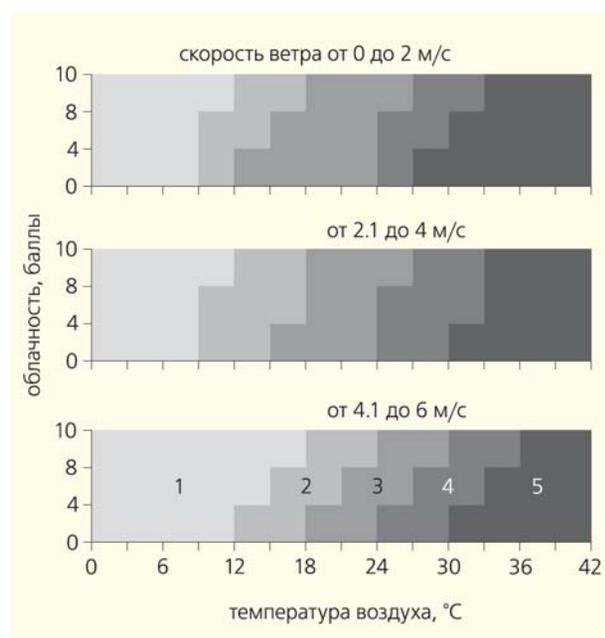
Весна в национальном парке наступает в середине апреля. В это время среднесуточная температура воздуха устойчиво переходит через 0°C, снежный покров начинает разрушаться. Однако в весенний сезон часто возвращаются холода, иногда выпадает снег, а до второй половины мая возможны заморозки.

Летний период (время, когда среднесуточная температура воздуха устойчиво превышает 10°C, а заморозков на почве не случается) обычно умеренно теплый, продолжается в среднем 2,5—3 мес — с начала июня до первых чисел сентября. Самый теплый месяц — июль. Для него климатической нормой температуры воздуха считается значение 16,3°C, а средняя температура может достигать 21°C. Абсолютный максимум зафиксирован в районе Куганаволока в июле 1972 г., он составил 33°C. На метеостанции Пудож в то же время воздух прогрелся до 36°C.

Осень наступает в начале сентября вместе с переходом среднесуточной температуры воздуха через 10°C. Осенние месяцы обычно теплее весенних, так как весной чаще происходит смена западного или восточного переноса воздушных масс на меридиональный, при котором создаются условия для поступления холодных масс воздуха из северных широт. Сентябрь теплее мая, а октябрь — апреля в среднем на 1,7 и 1,6°C соответственно. Начиная с октября в национальном парке преобладает пасмурная погода с продолжительными обложными дождями.

Безморозный период продолжается в среднем 138—143 дня.

Оценивая комфортность климата в районе г.Пудож, мы обнаружили, что здесь, как и на всей территории Карелии, устойчивые периоды с комфортными климатическими условиями не отмечаются вообще [4]. В среднем за год наблюдается всего 12 дней, когда на протяжении целых суток погода в районе исследований остается комфортной. В течение 14 лет наблюдений (2000—2013) на территории национального парка «Водлозерский» в мае и сентябре случаи комфортной погоды в течение суток не были отмечены ни разу. Наибольшее количество дней с комфортным типом погоды возможно в июле и составляет в среднем 7,4 дня. Дискомфортность определялась в основном низкими температурами в сочетании с высокой облачностью и большой влажностью воздуха. Облачность чаще всего повышается в результате преобладания воздушных масс, сформировавшихся над Атлантикой. В теплое полугодие, когда



Оценочная шкала определения типа и благоприятности рекреационной погоды для летнего отдыха [3]: 1 — холодная дискомфортная; 2 — прохладная субкомфортная; 3 — комфортная; 4 — жаркая субкомфортная; 5 — жаркая дискомфортная.

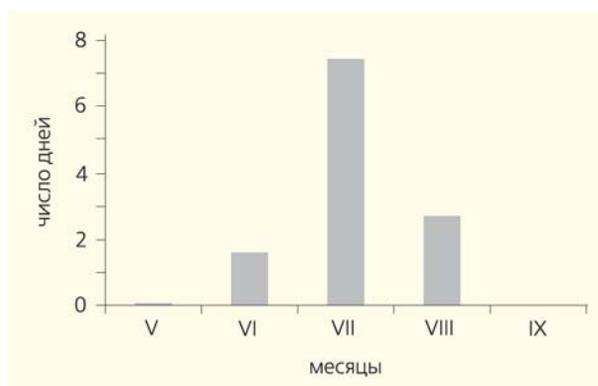
циклоническая деятельность менее активна, ежемесячное количество облаков оценивается в среднем в 6.5–7.5 баллов по десятибалльной шкале. В среднем за год преобладает пасмурная погода (более 7 баллов).

Национальный парк находится в так называемой зоне избыточного увлажнения. В среднем на территорию приходится 600–650 мм осадков в год, но их внутригодовое распределение неравномерно. С мая по октябрь выпадает до 400 мм, наибольшие суммы осадков за месяц характерны для августа и сентября — 78 и 71 мм соответственно. В среднем за год насчитывается 150–170 дней с относительной влажностью воздуха более 80% (в течение суток) и всего 3–9 дней с влажностью менее 30%.

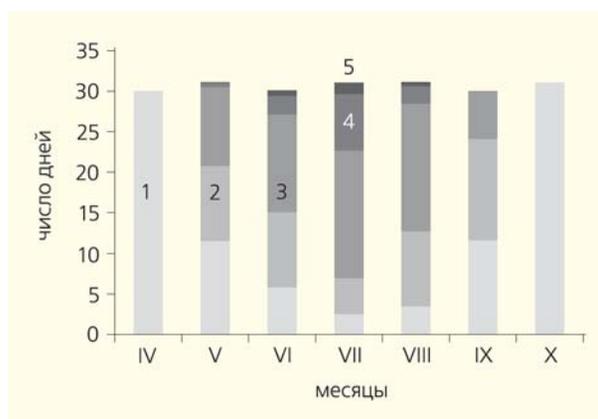
Далее, придерживаясь выбранной методики [3] и подхода, принятого в биоклиматических исследованиях, мы определили рекреационный тип погоды по ежедневным данным за двенадцатичасовой срок наблюдений. Установлено, что комфортная погода в середине дня может наблюдаться с мая по сентябрь, но чаще всего — в июле–августе (в среднем 15–16 дней, максимум — 29). Однако следует заметить, что комфортные условия в 12 ч не означают, что такая же погода будет в вечерние и особенно в ночные часы. Абсолютный минимум температуры воздуха в июле на метеостанции Пудож составил  $-0.1^{\circ}\text{C}$  (1986), в Куганаволоке  $3.6^{\circ}\text{C}$  (1986). В августе температура опускалась до  $-2.9^{\circ}\text{C}$  (1983) в Пудоже и до  $1.8^{\circ}\text{C}$  (1983) в Куганаволоке. С октября по апрель холодная дискомфортная погода характерна даже в дневные часы. В среднем за 2000–2013 гг. в июне–августе было отмечено 2–7 дней (максимально — 16 дней в июле 2003 г.), когда в полдень наблюдалась жаркая субкомфортная погода (температура воздуха выше  $24^{\circ}\text{C}$ ) и один день с жаркой дискомфортной погодой (температура воздуха выше  $30^{\circ}\text{C}$ ).

Надо сказать, что в отдельные годы температурный режим может значительно отличаться от многолетних значений. Так, летом 2010 г. по данным наблюдений на метеостанции Пудож в течение июля–августа, в данном районе было отмечено 17 дней, когда температура воздуха в дневные часы превышала  $30^{\circ}\text{C}$ , а 29 и 30 июля она достигала значений  $35.5$  и  $35.6^{\circ}\text{C}$  соответственно.

Наши исследования показали, что погодные условия в Водлозерье чаще всего действительно не



Среднее число дней с комфортным типом погоды в течение суток по данным наблюдений на метеостанции Пудож (2000–2013).



Распределение типов погоды по месяцам по данным наблюдений на метеостанции Пудож в 12 ч (2000–2013): 1 — холодная дискомфортная, 2 — прохладная субкомфортная, 3 — комфортная, 4 — жаркая субкомфортная, 5 — жаркая дискомфортная.

располагают к активной туристической деятельности. Тем не менее поток приезжающих сюда не становится меньше: люди стремятся побывать в этом удивительном краю, провести время среди лесов и озер заповедного Русского Севера, невзирая на возможные трудности. И все же мы призываем гостей национального парка всегда стараться учитывать риски, связанные с резкой переменной погодой, при планировании своего летнего отдыха. ■

## Литература

1. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Особо охраняемые природные территории в XXI веке: современное состояние и перспективы развития», посвященной 20-летию юбилею национального парка «Водлозерский». Петрозаводск, 2011.
2. Исаев А.А. Экологическая климатология. М., 2003.
3. Данилова Н.А. Климат и отдых в нашей стране. М., 1980.
4. Назарова Л.Е. Об оценке комфортности климата Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2011. №4. С.129–134.
5. Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. СПб., 2003.

# ДЕЛО БРУНО ПОНТЕКОРВО

Присуждение Нобелевской премии по физике прошлого года за экспериментальное открытие нейтринных осцилляций заставляет нас снова вспомнить автора самой идеи, выдающегося физика Бруно Максимовича Понтекорво, волею судеб ставшего нашим соотечественником. Собственно, интерес к его яркой личности никогда и не угасал, и не только в России, свидетельством чему служат две недавно вышедшие за рубежом биографические книги, посвященные ученому. И в обеих активно обсуждается вопрос, почему Понтекорво переехал жить в Советский Союз. О точках зрения авторов книг речь пойдет в первой статье, а затем свои комментарии выскажет член нашей редколлегии, лично знавший Понтекорво и долго работавший рядом с ним.

## Два взгляда

Б.В.Булюбаш,

*кандидат физико-математических наук,*

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева*

События, о которых пойдет речь, произошли в разгар холодной войны и до сих пор остаются одним из загадочных сюжетов истории науки прошлого столетия.

В августе 1950 г. сотрудник британского атомного центра в Харуэлле Бруно Понтекорво, известный специалист в области ядерной физики и физики элементарных частиц, проводил отпуск с женой и тремя детьми на своей родине, в Италии. Первого сентября все они вылетели в Стокгольм, а оттуда — в Хельсинки. После этого следы семьи были потеряны. Прошло пять лет... 4 марта 1955 г. Понтекорво выступил на пресс-конференции в Москве и объявил, что уехал в СССР по идейным соображениям. Бруно Максимович Понтекорво прожил в нашей стране 43 года, работал в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне, стал основателем отечественных исследований по физике нейтрино, был избран действительным членом АН СССР... Деталей загадочного переезда в Советский Союз он так и не раскрыл. Историки до сих пор продолжают спорить о причинах, заставивших успешного физика внезапно оказаться по нашу сторону железного занавеса.

Недавно Понтекорво стал героем сразу двух книг — первых жизнеописаний выдающегося физика, вышедших в свет за пределами Италии. За год до его столетнего юбилея, отмечавшегося в 2013 г., издательство Чикагского университета опубликовало исследование профессионального



Бруно Максимович Понтекорво. 1955 г.

историка науки Саймона Турчетти из Манчестера [1]\*. А через два года после юбилея вышла в свет биография Понтекорво, написанная специалистом в области физики элементарных частиц и популяризатором науки, профессором Оксфордского университета Фрэнком Клоузом [2]. В затянувшемся споре о таинственном поступке Понтекорво авторы занимают разные позиции.

### О чем говорят архивы

В предисловии к своей книге Турчетти предупреждает читателя, что считал задачей прежде всего именно подробный анализ событий, прямо или косвенно связанных с главной загадкой в жизни Понтекорво. Поэтому «Дело Понтекорво» нельзя назвать биографией в обычном смысле этого слова, хотя биографическая канва в книге в целом сохранена.

Турчетти считает, что образ Понтекорво как академического исследователя в области физики элементарных частиц не вполне адекватен его реальному пути в науке. В книге подробно описано участие ученого в прикладных исследованиях, в том числе в поиске месторождений нефти (а впоследствии и урановых месторождений) — с помощью изобретенного им метода нейтронного каротажа, хронологически первого примера практического применения нейтронной физики. Автор уделяет значительное место обсуждению сообщений, появившихся в начале 50-х годов как в английских СМИ, так и во внутренней переписке британских спецслужб. В этих сообщениях шла речь о личном участии Понтекорво в поисках урана в Китае и в Чехословакии.

В рамки темы «Понтекорво и прикладная наука» вписывается и растянувшаяся на два десятилетия «патентная история». Началом этой истории стало открытие эффекта замедленных нейтронов. 22 октября 1934 г. группа физиков, изучавшая в Римском институте физики под руководством Энрико Ферми явление искусственной радиоактивности, обнаружила резкий рост скорости образования радиоактивных изотопов, когда используемые для облучения мишеней нейтроны оказались предвременно замедленными. Открытие эффекта было зафиксировано итальянским



Б.Понтекорво (слева) и Э.Ферми (справа) на фабрике «Оливетти» во время международной конференции по физике в Базель-Комо, 1949 г.

патентом; Ферми и его соавторам (в числе которых были Бруно Понтекорво и Эмилио Сегре) удалось получить также и патент США.

Обнаружение действия замедленных нейтронов положило начало новому этапу в развитии ядерной физики, результатом которого стал старт британского, американского и советского проектов по созданию атомного оружия. Уже в декабре 1942 г. в Чикаго под руководством Ферми был построен и введен в эксплуатацию первый в мире ядерный реактор, в котором цепную реакцию деления ядер урана запускали нейтроны, замедленные в графите. Авторы патента начали переговоры с властями США о полагающейся им денежной компенсации. Переговоры растянулись на десятилетие... В итоге в 1953-м все авторы запатентованного изобретения получили компенсацию от правительства США на общую сумму 300 тыс. долл. Из нее Понтекорво ничего не было выплачено, поскольку его официальное местонахождение на тот момент времени было неизвестно.

Именно в событиях патентной истории, считает Турчетти, и скрывается причина бегства Понтекорво в СССР\*\*. Роковую роль здесь сыграло письмо Сегре, написанное им в 1949 г. и адресованное чиновнику Комиссии по атомной энергии США Роберту Торнтону.

К тому времени Понтекорво уже был гражданином Великобритании и работал в британском атомном центре в Харуэлле. О неблагоприятном поступке будущего нобелевского лауреата (премия была присуждена Сегре и Оуэну Чемберлену в 1959 г. за открытие антипротона) Турчетти рас-

\* По словам Турчетти, «The Pontecorvo affair» следует рассматривать как «версию 2.0» его книги «Il caso Pontecorvo: Fisica nucleare, politica e servizi di sicurezza nella Guerra Fredda», изданной в Милане в 2007 г.

\*\* *Turbetti S. For Slow Neutrons, Slow Pay. Enrico Fermi's Patent and the U.S. Atomic Energy Program, 1938—1953 // Isis. 2006. V.97. P.1—27.*

сказывает в параграфе «Осведомитель Сегре». Действительно, Эмилио — друг и коллега Бруно по Римскому институту физики, один из «мальчиков Ферми» — выступил в роли добровольного осведомителя. В своем письме он писал Торнтону о неблагонадежности Понтекорво, ссылаясь на тот факт, что «несколько членов его семьи в Италии были коммунистами» и «имели на него влияние» [1, p.106]. Более того, Сегре предположил, что Понтекорво перешел на работу в Атомный центр в Харуэлле (это произошло в 1949 г.) «с нехорошими целями». В контексте антикоммунистической истерии в США упоминание о «нехороших целях» воспринималось вполне однозначно — как намек на неблагонадежность Понтекорво и на его возможную связь с советской разведкой. Напомним, что вскоре, в феврале 1950 г., был арестован и обвинен в шпионаже коллега Понтекорво по Харуэллу физик-теоретик Клаус Фукс; на момент написания письма он уже находился под наблюдением спецслужб.

Турчетти полагает, что действия Сегре были вызваны его обеспокоенностью событиями вокруг патента. Сегре опасался, что чиновникам из Комиссии по атомной энергии США станет известно о наличии у Понтекорво коммунистических родственников, в связи с чем они заподозрят Сегре (знавшего эту деталь биографии своего друга) в недостаточной лояльности. А в результате власть откажет авторам патента в выплате роялти... Письмо Сегре инициировало переписку американских и британских спецслужб, а Торнтон передал полученную информацию Джону Кокрофту, директору центра в Харуэлле. После нескольких встреч руководства атомного центра с Понтекорво ему было предложено сменить работу: уехать из Харуэлла и занять должность профессора в Ливерпульском университете.

Переезд в Ливерпуль был запланирован на осень 1950 г., а в августе Понтекорво с семьей уехал из Харуэлла на каникулы в Италию. В это время вокруг патентной истории произошли новые события. Турчетти рассказывает, что летом 1950 г. по инициативе сопровождавшего переговоры о компенсации юриста Джиганини сумма претензий авторов патента к правительству США была увеличена до 10 млн долл. С самими учеными Джиганини свои действия не согласовывал, что, в частности, вызвало неудовольствие Ферми. Как и следовало ожидать, СМИ расценили действия Джиганини как непатриотичные. Требование авторов патента журналисты представляли не естественным желанием получить давно обещанное вознаграждение, а своеобразным вызовом правительству. Как и Фукс, соавторы «атомного патента» были эмигрантами и, несмотря на свои заслуги в успехе Манхэттенского проекта, вполне могли получить обвинения если не в шпионаже, то в недостаточной лояльности.

Что касается Понтекорво, то он явно предпочел бы обойтись без излишнего информационно-

го шума. Его крайне обеспокоил арест Фукса; уже в СССР Бруно Максимович рассказывал, что и он сам, и его коллеги считали причиной ареста исключительно коммунистические взгляды Клауса (в действительности Фукс несколько лет передавал советской разведке крайне ценную информацию об американском и британском атомных проектах). Вот что об этом пишет Турчетти: «Скорее всего, Понтекорво беспокоил возможный публичный скандал больших масштабов. Он опасался, что, как только новости о патентной истории достигнут Англии, спецслужбы начнут новые расследования. А в этом случае пострадает его имидж как ученого, и продолжение профессиональной деятельности станет для него невозможным... через восемь дней после заявления Джиганини Понтекорво уехал в СССР» [1, p.113].

Свою версию бегства Понтекорво Турчетти противопоставляет «шпионской», согласно которой Понтекорво добровольно сотрудничал с советской разведкой и бегство в СССР спасало его от неминуемого ареста. В этой версии итальянский физик помещается в один ряд с известными информаторами нашей разведки Аланом Нанном Мэем (коллегой Понтекорво по лаборатории в канадском Чок-Ривере, арестованным и осужденным в 1946 г.) и уже упоминавшимся Фуксом (коллегой по Харуэллу, арестованным и осужденным в 1950 г.). Турчетти, однако, напоминает, что ни британские, ни американские спецслужбы каких-либо доказательств работы Понтекорво на советскую разведку никогда не предъявляли. Он считает, что для успешного развития ядерной физики в СССР появление в научном сообществе специалиста столь высокой квалификации и с таким большим опытом практической работы в конечном счете оказалось более важным, чем информация, переданная Мэем и Фуксом. Что же касается имиджа Понтекорво как одного из «атомных шпионов», то Турчетти полагает, что «дело Понтекорво» принципиально отличается от «дела Фукса» и «дела Мэя». По мнению Турчетти, Понтекорво разделил судьбу Роберта Оппенгеймера и Фредерика Жолио-Кюри — знаменитых физиков и выдающихся организаторов науки, на биографии которых драматически сказалась антикоммунистическая кампания, развернутая на Западе в начале 50-х годов [1, p. 215].

Значительное место в исследовании Турчетти отведено анализу действий британских и американских спецслужб — как вокруг Понтекорво, так и в контексте британского и американского атомных проектов в целом [5]. Некоторые подробности во взаимоотношениях спецслужб и ученых по ту сторону железного занавеса для отечественного читателя выглядят настоящим откровением.

Так, с приближением первого в мире испытания атомного оружия (16 июля 1945 г.) режим секретности в Манхэттенском проекте ужесточался.

Небезынтересна реакция на это физиков и химиков — вынужденных эмигрантов из европейских стран, работавших в англо-канадском проекте по строительству в Чок-Ривере второго в мире (первый был создан в Аргонне, США) реактора на тяжелой воде. В этом проекте Понтекорво занимал должность одного из нескольких «старших специалистов» с февраля 1943 г. Летом 1944 г., после высадки союзников в Нормандии, военный руководитель Манхэттенского проекта генерал Лесли Гровс получил несколько заявлений от работавших в Чок-Ривере французов, желавших посетить родину после ее освобождения. Все их просьбы Гровс безоговорочно отклонил. Более того, в сентябре 1944 г. главный научный советник Уинстона Черчилля Фридрих Линдеманн (лорд Черуэлл) посетил Канаду и потребовал запретить поездки за пределы США и Канады всех занятых в проекте ученых, не являющихся гражданами Великобритании (поездки которых британские законы ограничивать не позволяли). Как лаконично пишет Турчетти, «реализовать этот запрет на практике было непросто». Так, в ноябре 1944 г. один из ведущих специалистов Чок-Ривера Ханс Хальбан посетил Францию, где, проигнорировав предупреждения спецслужб, встретился со своим учителем Жолио-Кюри (напомним, что тот был активным членом Коммунистической партии Франции). Турчетти замечает, что генерал Гровс испытывал ярость по этому поводу.

Ограничения распространялись, естественно, и на гражданина Италии Понтекорво. Когда летом 1945 г. он обратился к руководителю проекта Джеймсу Чедвику за разрешением посетить Италию, то вполне ожидаемо получил отказ. Понтекорво, однако, настаивал на своем: он заявил, что продолжит работать в Канаде лишь при условии, что его не будут ограничивать в поездках в Европу. Это заявление имело вполне определенные основания: к тому времени ученый уже обсуждал возможность перехода на работу в один из университетов США, рассматривая в качестве возможных вариантов Беркли, Рочестер и Мичиган. Перед Рождеством 1945 г. Понтекорво вновь встречается с Чедвиком и в итоге получает долгожданное разрешение. Демарш физика — не столько перед администрацией (в лице Чедвика), сколько перед стоящими за ней спецслужбами — оказался успешным! Между тем с точки зрения режима секретности ситуация для спецслужб в тот момент была непростой: завершалась подготовка к аресту канадского информатора советской разведки Мэя; проводились внеочередные проверки персонала, в том числе и в отношении Понтекорво. Удавшийся демарш последнего демонстрирует в том числе и отсутствие к нему каких-либо претензий со стороны спецслужб. Для Турчетти эта история — один из аргументов против шпионской версии «случая Понтекорво».



Понтекорво с сыном Тито. Канада, 1946 г.

### Дополняют свидетельства современников

Биографию Понтекорво, написанную Клоузом, отличает от текста Турчетти в числе прочего расстановка акцентов. И в предисловии, и в послесловии своей книги Клоуз подчеркивает, что прежде всего писал биографию выдающегося ученого. Так, в финальной главе он приводит впечатляющий рассказ не названного по имени «российского историка», который, собирая в 1992 г. материал для документального фильма о холодной войне, попросил консультировавшего его офицера пресс-службы КГБ организовать встречу с Понтекорво. На предложение участвовать в беседе «под запись» Бруно Максимович ответил категорическим отказом, и его слова, переданные историком сотрудником пресс-службы (и пересказанные Клоузом), были весьма выразительными: «Ya khochu umeret kak velikii fizik, a ne kak vash jebanyi shpion».

Профессиональный физик, Клоуз значительную часть своей книги посвящает рассказу о достижениях Понтекорво в физике элементарных частиц. Ему удалось внести важные уточнения в описание связанных с именем ученого историко-научных сюжетов.

Одно из таких уточнений касается идеи хлораргонного метода регистрации нейтрино. Счита-

ется, что впервые этот метод описал Понтекорво, о чем свидетельствует опубликованный в 1946 г. отчет Канадского национального исследовательского совета. Клоуз, однако, уточняет: «Отчет основывается на более раннем документе, датированном 21 мая 1945 г.; знакомство с этим документом показывает, что Понтекорво развивал свои идеи не в одиночестве». Так, за идею использовать тетрахлорид углерода Понтекорво благодарит химика из лаборатории в Чок-Ривере Жюля Гуерона. Пересказывая и цитируя этот документ, Клоуз пишет: «...соображения Гуерона о взаимодействии нейтрино с атомами хлора и их последующем превращении в радиоактивные атомы аргона вызвали дискуссию между “автором и д-ром Фришем”. Это привело Бруно к выводу, что преимущества аргона как химически инертного газа делают стратегию использования тетрахлорида углерода, “следуя д-ру Фришу и автору, наиболее перспективным методом”». «Доктор Фриш» — это тот самый Отто Фриш, который в 1939 г. стал одним из соавторов исторического открытия деления атомных ядер, а в 1940-м вместе с Рудольфом Пайерлсом оценил величину критической массы для изотопа урана.

Важное уточнение Клоуза относится к истории изучения солнечных нейтрино. Как известно, используя хлор-аргонный метод, такие нейтрино впервые зарегистрировал Рэй Дэвис. Сама же идея попытаться «поймать» нейтрино, источником которых служит Солнце (а не ядерные реакторы), связывается исключительно с именем Понтекорво. Действительно, 4 сентября 1946 г. на проходившей в Чок-Ривере конференции по ядерной физике Бруно впервые высказал свои соображения относительно нейтрино, «произведенных» в недрах Солнца в реакциях термоядерного синтеза. Именно от этого события отсчитывается обычно история исследования солнечных нейтрино. Как выяснил Клоуз, докладу предшествовал отчет, датированный 1945 г. и рассекреченный только спустя 19 лет, — тот самый документ, о котором шла речь выше. В основном тексте отчета Понтекорво обсуждал исключительно возможности регистрации нейтрино от ядерного реактора и о солнечных нейтрино не упоминал. Однако в самом конце документа, уже после подписи автора, имеется дополнение, которое инициировал работавший в Чок-Ривере британский физик-теоретик Морис Прайс. Тот обратил внимание Понтекорво на следующее обстоятельство: если источником энергии Солнца действительно служит реакция термоядерного синтеза, то поток нейтрино от светила может достигать 10 млрд частиц на квадратный сантиметр за одну секунду. В связи с этим Понтекорво пишет: «Д-р Прайс заметил автору, что поток нейтрино от Солнца весьма значителен». «Таким образом, — делает вывод Клоуз, — автором идеи регистрировать нейтрино от Солнца был Прайс». Клоуз также замечает, что

Понтекорво и Прайс считали плотность потока солнечных нейтрино на поверхности Земли слишком маленькой, чтобы быть зарегистрированной экспериментально.

Отдавая должное физике Понтекорво, Клоуз, как и Турчетти, основную часть биографии ученого посвятил обсуждению решения, принятого тем в августе 1950 г. Решения, определившего последующую жизнь и его самого, и всей его семьи. Клоуз анализирует разнообразную и зачастую противоречивую информацию о возможных контактах Бруно с советской разведкой. В основу своего анализа он кладет не только документы (среди которых первое место принадлежит рассекреченным фрагментам корреспонденции МИ5 и ФБР), но и многочисленные интервью с участниками событий и с их родственниками. В этом, кстати, книга Клоуза отличается от книги Турчетти, опирающегося в первую очередь на данные из архивов. В итоге Клоуз представляет нам собственную реконструкцию происходивших событий (не настаивая, впрочем, на ее безоговорочной справедливости).

Он, в частности, замечает, что в 1944 г., составляя очередной список заданий для научнотехнической разведки, Игорь Васильевич Курчатов (научный руководитель советского Атомного проекта) не мог не заметить в списке сотрудников центра в Чок-Ривере хорошо известного ему ученика Ферми и Жолио-Кюри. Курчатова связывало с Понтекорво общее научное прошлое: в конце 30-х годов они оба (Курчатов в Ленинграде, Понтекорво — в Париже) исследовали явление ядерной изомерии и ссылались на работы друг друга.

Клоуз считает, что работники советской разведки — представители страны, борющейся с фашизмом, — могли встретиться с Понтекорво и сделать ему предложение, от которого Бруно не позволили отказаться антифашистские идеалы его парижской юности. Вполне вероятно, что речь шла о передаче союзникам по Второй мировой войне чертежей, относящихся к англо-канадскому реактору на тяжелой воде. Такие чертежи (а также образцы урана) советская разведка действительно получила от источника в Канаде, имя которого разведчики не назвали. После этого Понтекорво мог стать объектом манипуляций и вновь передать запрашиваемую у него информацию — на этот раз уже не по собственному желанию, а под угрозой разоблачения. Клоуз пишет: «Хотя мы и не располагаем доказательствами, что Понтекорво был тем самым источником... по совокупности данных он вполне может быть главным подозреваемым». Так, автор считает довольно вероятным, что Понтекорво передал в СССР образцы изотопа урана, используемого в англо-канадском реакторе.

По словам Клоуза, версия о сотрудничестве Понтекорво с советской разведкой позволяет со-

ставить пазл из фактов, не находящих иного объяснения. Среди элементов пазла — воспоминания советской разведчицы Леонтины Коэн о существовании «канадских источников», с которыми она встречалась и имен которых она так и не назвала. И две странные групповые фотографии шести «старших исследователей» из Чок-Ривера, на которых Бруно — единственный — «случайно» отворачивается от камеры. Клоуз увидел в этих фотографиях бессознательное желание Бруно избежать излишней публичности.

Главный же элемент этого пазла — таинственное бегство Понтекорво в августе 1950 г. Судя по всему, его ближайшими планами было завершение отдыха в Италии и возвращение в Харуэлл. Однако произошло что-то, что подвигло его изменить свою судьбу. Как и Турчетти, Клоуз придает большое значение инициировавшему активность ФБР письму Сегре (называя его Иудой Искарриотом). В версии Клоуза важная роль принадлежит также знаменитому советскому разведчику Киму Филби, занимавшему тогда должность руководителя миссии связи британской разведки в Вашингтоне. Узнав об интересе ФБР к личности Понтекорво, Филби немедленно передал эту информацию в Москву. После этого видный деятель итальянской коммунистической партии Эмилио Серени встретился в Риме со своим двоюродным братом Бруно Понтекорво и передал ему письмо из Москвы. В этом письме Бруно сообщали, что ФБР готовит его арест. Клоуз полагает, что московские кураторы Понтекорво и Серени намеренно драматизировали ситуацию и что цель их была достигнута: впечатленный недавним арестом Фукса (и считая его пострадавшим исключительно за коммунистические убеждения), Бруно действительно испугался. После чего при содействии Серени (здесь Клоуз согласен с Турчетти) было организовано его бегство за железный занавес.

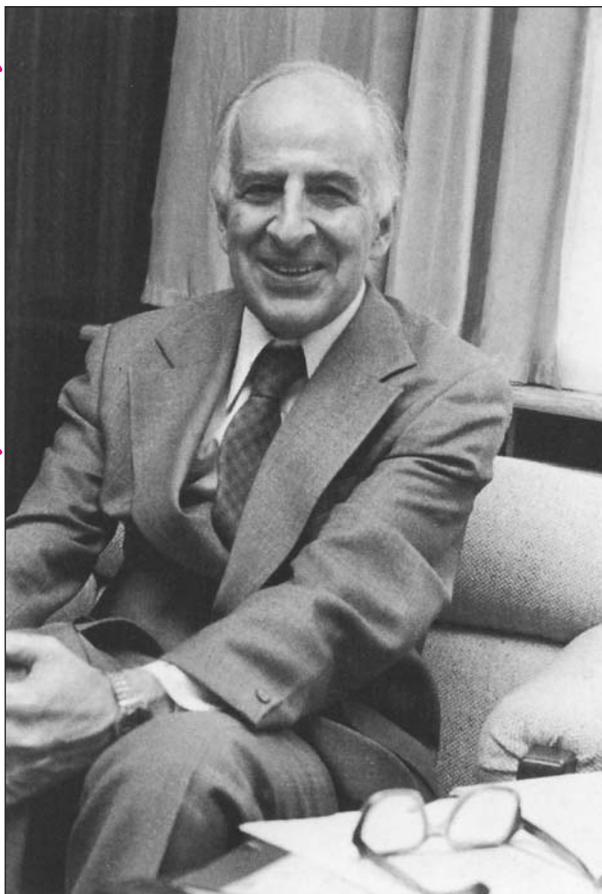
Важное отличие биографии Клоуза от книги Турчетти — более-менее подробный рассказ о жизни Понтекорво в Советском Союзе. Не ограничиваясь деталями повседневной жизни, Клоуз анализирует также подробности некоторых науч-



Два снимка, о которых идет речь в книге. Слева направо: П.Оже, Х.фон Хальбан, Ж.Гуерон, Б.Гольдшмидт, Б.Понтекорво, Г.Селигмен.

Фотографии печатаются с любезного разрешения Ф.Клоуза.

ных идей своего героя. В частности, обсуждает записи в рабочих блокнотах Бруно Максимовича, относящиеся к первым месяцам пребывания в Дубне. С блокнотов недавно был снят гриф секретности, и они были представлены на юбилейной конференции, проходившей в 2013 г. на родине Понтекорво, в г.Пизе. Клоуз обращает наше внимание на записи, относящиеся к экзотическому изотопу водорода, атомное ядро которого состоит из протона и трех нейтронов (иногда этот изотоп называют квадием). С наибольшей вероятностью он распадается на нейтрон и тритий, причем период полураспада составляет для него примерно сотню йоктосекунд ( $10^{-24}$  с). Исчезающе малое значение этой величины означает, что изотоп фактически не существует. По мнению Клоуза, за-



Бруно Максимович в 1983-м.

метки Понтекорво отражают интерес руководителей Атомного проекта к возможным способам получения трития — на тот момент главного кандидата на роль «топлива» будущей водородной бомбы. Как считает биограф, дубнинские физики рассчитывали получать атомы изотопа при соударении с твердыми мишенями соответствующим образом ускоренных альфа-частиц. Клоуз пишет: «...представляется вполне вероятным, что советские власти интересовала стратегическая возможность производства «сверхтретия» <...> и, соответ-

ственно, вопрос о возможности обнаружить атомы этого изотопа. Бруно, по-видимому, воспринял эту проблему как вызов для экспериментатора, игнорируя то обстоятельство, что в отношении самого существования изотопа теоретики высказывали большие сомнения».

Отдавая должное идеям, выдвинутым Понтекорво в советский период его жизни, Клоуз негативно оценивает выбор, сделанный им в августе 1950-го. Оценка Клоуза связана не только с потерей из-за переезда в СССР шансов Понтекорво на Нобелевскую премию\*. Точка зрения оксфордского профессора Клоуза — вполне объяснимая реакция на ограничения, обрушившиеся на европейского ученого, который привык к прозрачности межгосударственных границ и к неприкосновенности своей личности. Реакция на невозможность Бруно Максимовича избавиться от «сопровождающих», не оставявших его даже во время первой после вынужденного 28-летнего перерыва встречи с родственниками в Италии в 1978 г. На невозможность восстановить отношения со старыми друзьями и коллегами из Европы и США, отказавшими ему в доверии. На невозможность ответить что-то вразумительное сыну-океанологу, после того как его в очередной раз отказались включить в состав международной экспедиции... Обо всем этом Клоуз рассказывает в своей книге.

Однако для коллег Понтекорво — советских ученых — эти ограничения были частью окружающей их реальности, привычной, как воздух. Из их воспоминаний вырастает совсем другой образ Бруно Максимовича. Они благодарны ему: за уроки нравственного поведения в науке и в жизни, за европейскую элегантность облика, за «мастер-классы» обработки экспериментальных данных, за пропаганду горных лыж и подводной охоты, за невероятное обаяние. И только Ирина Покровская, многолетний секретарь академика Понтекорво, увидела его «самым жизнерадостным из всех опечаленных людей на свете» [6, с.250].■

\* Подробнее см.: *Герштейн С.С.* Нобелевские премии, которые не получил Понтекорво // Природа. 2013. №11. С.76—85.

## Литература

1. *Turchetti S.* The Pontecorvo affair: a cold war defection and nuclear physics. Chicago: L., 2012.
2. *Close F.* Half-life: the divided life of Bruno Pontecorvo, physicist or spy. N.Y., 2015.
3. Булюбаиш Б.В. Открытие эффекта замедленных нейтронов: страницы истории // Физика в школе. 2015. №8. С.3—12.
4. Булюбаиш Б.В. Физика и власть: об одном необычном сюжете из истории авторского права // Физика в школе. 2016. №1 (в печати).
5. *Turchetti S.* Atomic secrets and governmental lies: nuclear science, politics and security in the Pontecorvo case // British Journal for the History of Science. 2003. V.36. №4. P. 389—415.
6. Покровская И.Г. «Судьба свои дары явить желала в нем...» // Бруно Понтекорво. Избранные труды: В 2 т. / Под общей редакцией С.М.Биленького. М., 1997. Т.2. С.244—251.

# Факты и предположения

академик С.С.Герштейн

*Институт физики высоких энергий  
Протвино*

Разумеется, восстанавливать историю событий надежнее всего по материалам проверенных источников, и несомненное достоинство книги С.Турчетти состоит в том, что в ней используются официальные архивные документы. Однако далеко не всегда в архивах можно найти ответы на интересующие нас вопросы. И тут мы вступаем на зыбкую почву догадок, с той или иной степенью вероятности отражающих реальную ситуацию. Имеющиеся достоверные материалы должны помочь в определении этой вероятности.

Так, на основе документов, цитируемых в книге, можно получить косвенное подтверждение некоторых других фактов, не нашедших документального обоснования. Один из таких фактов — открытие в 1955 г. антипротона, за которое Э.Сегре и О.Чемберлен были удостоены в 1959 г. Нобелевской премии.

## Сегре, Пиччионе и Понтекорво

В 70-х годах известный физик О.Пиччионе опубликовал историю об обстоятельствах, предшествующих этому открытию. По словам Пиччионе, вся схема эксперимента по поиску антипротона на ускорителе «Беватрон» была предложена именно им, но Сегре, угрожая сообщить о его левых взглядах, за которые он мог в два счета быть экстрадирован из США, вынудил Пиччионе отказаться от участия в этой работе. Пиччионе был другом Понтекорво, и Бруно Максимович сочувствовал ему, не сомневаясь в его честности и порядочности. Очень жалея Пиччионе в связи с несправедливыми для того обстоятельствами, Бруно говорил: «Бедный — он же не может ничего доказать и попадает поэтому в жалкое положение. Об этой истории можно рассказать только жене или близким друзьям». На мой взгляд, в пользу Пиччионе объективно свидетельствовало его глубокое знание постановки эксперимента по поиску антипротона, благодаря чему он (спустя год после открытия данной частицы) в составе другой группы экспериментаторов впервые обнаружил антинейтрон, возникающий в результате зарядово-обменного рассеяния антипротона на ядрах мишени [1]. Публикация архивных данных о (мягко выражаясь) неблагоприятном поведении Сегре, не гнушавшегося политическими доносами

для устранения конкурентов, служит (хотя и косвенным) подтверждением истории Пиччионе.

Следует отметить, что именно работы с участием Пиччионе натолкнули Понтекорво на две величайшие гипотезы (приоритет которых тоже не всегда отдавался их настоящему автору): об универсальном характере слабых взаимодействий и о возможной осцилляции нейтрино.

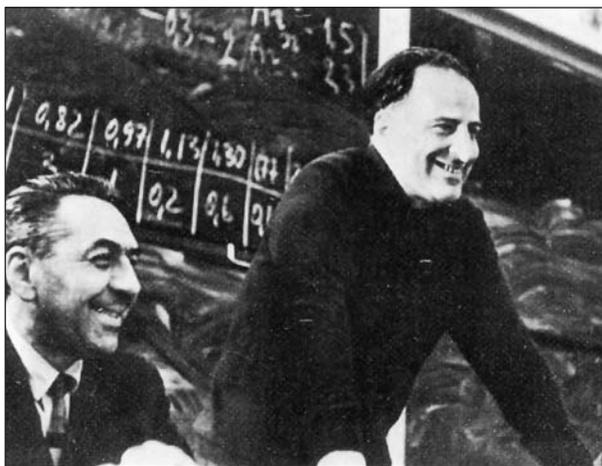
В 1947 г. М.Конверси, Е.Панчини и О.Пиччионе обнаружили, что вероятность захвата атомными ядрами вещества останавливающихся в веществе отрицательных мезонов на много порядков меньше, чем была бы в случае сильного взаимодействия последних с ядрами (сейчас эти мезоны называют мюонами). На основе этих результатов Понтекорво в 1947—1948 г. выдвинул гипотезу о фундаментальной аналогии между процессами радиоактивного  $\beta$ -распада и процессами испускания или поглощения заряженных мюонов. Согласно его идее, захват мюона атомным ядром был аналогичен так называемому процессу К-захвата, который представляет собой захват атомного электрона протоном в атомном ядре и описывается теорией  $\beta$ -распада Ферми. На этом основании Понтекорво написал мюону спин  $1/2$ . Дальнейшие исследования Дж.Штейнбергера и независимо Б.Понтекорво показали, что мюон распадается на электрон и две нейтральные частицы с маленькой массой (предположительно, нейтрино), а время жизни мюона по порядку величины совпадает с ожидаемым для четырехфермионного  $\beta$ -взаимодействия. Это согласовалось с гипотезой Понтекорво об универсальном характере  $\beta$ -сил. Но, как пишет в своих воспоминаниях Нобелевский лауреат Штейнбергер [2], первая публикация Бруно, где тот впервые указал на аналогию  $\mu$ - и К-захвата (1947), осталась незамеченной, и идея универсальности  $\beta$ -сил была переоткрыта спустя два года, когда были установлены три примера подобных процессов. Штейнбергер приводит хронологию работ, авторов которых принято считать сейчас авторами гипотезы об универсальном характере слабых взаимодействий, которые при этом не ссылаются на первую публикацию Понтекорво. Это Дж.Пуппи (1948), Дж.Томмо и Дж.Уиллер (1949); Т.Д.Ли, М.Розенблют, С.Н.Янг (1949). Не воспринял вначале гипотезу Понтекорво и Э.Ферми, которого Бруно посетил в 1948 г. Штейнбергер объясняет это тем, что новую фундаментальную концепцию не всегда легко принять даже великим людям.

Моделью же для гениальной гипотезы Понтекорво о возможности осцилляции нейтрино послужила известная работа А.Пайса и О.Пиччиони о возможности конверсии долгоживущего мезона в короткоживущий мезон, выполненная в 1955 г. Такой процесс, как указали авторы, мог бы экспериментально подтвердить гипотезу М.Гелл-Манна и А.Пайса, согласно которой  $K^0$  и анти- $K^0$  представляют собой суперпозицию двух частиц с различными временами жизни и немного отличающимися массами. Согласно гипотезе Понтекорво, нейтрино также могло быть суперпозицией двух (или более частиц) с отличающимися массами, что приводило бы в вакууме к переходам одного типа нейтрино в другой, а наблюдение этих осцилляций позволило бы определить разность масс составляющих частиц.

Эта гипотеза была выдвинута Понтекорво в 1957—1958 г., а после открытия в 1962 г. неожиданности электронного и мюонного нейтрино рассматривалась группой японских авторов. В совместной с В.Н.Грибовым работе (1969) Понтекорво указал, что благодаря осцилляции  $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$  в радиохимических опытах может обнаружиться дефицит солнечных электронных нейтрино. Так это и оказалось.

### Причина отъезда в СССР. Понтекорво и Фукс

В 60-х годах на ученом совете Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне с докладом выступил К.Фукс, который после досрочного освобождения из английской тюрьмы работал в Дрездене, в ГДР. Мы с Бруно Максимовичем во время его выступления сидели рядом в заднем ряду и могли шепотом переговариваться. Бруно был крайне взволнован. Казалось, он глубоко переживает свое прошлое, о котором напомнил



На семинаре в Лаборатории ядерных проблем (Дубна, ОИЯИ), 1963 г.

ему приехавший докладчик. Бруно говорил мне вполголоса: «Ферми был очень строг в оценках уровня ученых, но Фукса он считал звездой первой величины. Мы все были уверены, что Фукс стал жертвой развязанной маккартистской антикоммунистической кампании, когда власти узнали, что Фукс является коммунистом. Мы считали, что его арест — политическая провокация». Для меня эти слова объясняли, почему Понтекорво, опасаясь ареста, переехал в СССР. Ведь он говорил мне, что был членом подпольной Компартии Италии, в которую вступил в 1936 г., во время войны в Испании. Когда заседание ученого совета закончилось и мы вышли из зала, Бруно колебался, не подойти ли к Фуксу, но не сделал этого и ушел в лабораторию.

Бруно, несомненно, встречался с Фуксом и говорил, что вера Фукса в коммунистические идеалы была буквально его религией. По словам немецких физиков из Дрездена, работавших в Дубне, Фукс сохранил ее, и живя в ГДР. Если учесть оценку Ферми и роль Фукса в американском Манхэттенском проекте создания атомной и водородной бомб, то можно считать, что в жертву этим идеалам он и принес свою карьеру выдающегося ученого.

Турчетти связывает отъезд Понтекорво в СССР с его опасениями, что завышенные в 1950 г. претензии о выплате денег за патент, принадлежащий группе Ферми, могут привести к более тщательной проверке спецслужбами всех авторов патента и выявить коммунистические связи Понтекорво. А это могло грозить полицейской провокацией и арестом — аналогично тому, которому подвергся Фукс в феврале 1950 г. Следует учесть вместе с тем, что в сентябре 1949 г. была испытана плутониевая атомная бомба в СССР. Это произошло значительно раньше, чем предсказывали военные и чиновники в США, уверенные в превосходстве американской техники. В оправдание ошибки прогнозов была выдвинута версия передачи в Советский Союз атомных секретов США и возникла шпиономания. Поэтому, отправившись со всей семьей в Италию в августе 1950 г. и вначале собираясь вернуться осенью в Англию, Понтекорво резко меняет планы: первого сентября вылетает в Стокгольм и тайно переезжает в СССР. Будучи членом Компартии Италии, Бруно несомненно встречается во время своего пребывания в Италии с ее руководящими работниками. Возможно, именно они предупреждают ученого о грозящей ему опасности и связывают его с советскими спецслужбами, которые организуют его переезд в СССР.

Понтекорво, конечно, никогда не был советским агентом. Когда в 1945 г. шифровальщик советского посольства в Канаде предательски вынес из посольства полный список советских агентов и это повлекло многочисленные аресты (в том числе среди ученых), Понтекорво, работавшего одним из главных научных сотрудников проектируемого исследовательского реактора, в этом списке не было.

Но один вопрос, по-моему, остается. Как пишет известный генерал НКВД П.А.Судоплатов в своих воспоминаниях, сведения о том, что в США в декабре 1942 г. запущен ядерный реактор, были получены от Понтекорво и еще одного источника весной 1943 г. Можно ли верить Судоплатову? Могло ли быть такое? Понтекорво, конечно, не мог не знать о факте запуска реактора. Во-первых, в связи с вопросом о выплате за патент, а во-вторых (и это главное), потому, что сам был приглашен в 1943 г. для проектирования канадского реактора. Мог ли он скрыть это крупнейшее событие от первой страны социализма? Кроме того, как он пишет в своей автобиографии, он считал в высшей степени несправедливым и аморальным крайне враждебное отношение Запада к Советскому Союзу, который за счет неслыханных жертв внес решающий вклад в победу над нацизмом. Нельзя исключить поэтому, что он сообщил о запуске реактора кому-нибудь из представителей Итальянской компартии, с которыми, возможно, поддерживал контакт, а те в свою очередь передали новость в Советский Союз. Если это действительно произошло, то факт запуска ядерного реактора был самым ценным сообщением разведки. Подобно тому, как главный секрет атомной бомбы заключался в том, что ее можно сделать, так и главный секрет ядерного реактора состоял в том, что он запущен. Дальше дело было за специалистами, которые могли это осуществить. Поделиться с Россией некоторыми ядерными секретами предлагал ряд выдающихся физиков, в том числе Н.Бор, вызвавший в связи с этим большое неудовольствие У.Черчилля.

Все изложенное остается пока, хоть и вполне вероятными, но все же предположениями. Как свою версию произошедшего представляет историю переезда Понтекорво в СССР автор второй книги, Ф.Клоуз. И в погоне за доказательствами поневоле попадает впросак.

### Свидетельство свидетельству рознь

Если, пытаясь дополнить картину, от документов перейти к свидетельствам очевидцев, надо проявлять известную бдительность, чтобы не распространять сведений в стиле известного выражения «врет, как очевидец».

### Литература

1. *Cork B., Lambertson G.R., Piccioni O., Wenzel W.A.* Antineutrons produced from antiprotons in charge-exchange collisions // *Phys. Rev.* 1956. V.104. P.1193—1196; перевод: Корк Б., Ламбертсон Г., Пиччиони О., Вензел В. Антинейтроны, полученные путем перезарядки антипротонов // *УФН.* 1957. Т.62. С. 385—390.
2. *Steinberger J.* «A personal debt to Bruno Pontecorvo» // Бруно Понтекорво. Избранные труды: В 2 т. / Под общей редакцией С.М.Биленького. М., 1997. Т.2. С.175—177.
3. *Судоплатов П.А.* Спецоперации. Лубянка и Кремль в 1930—1950 годы. М., 1997.
4. *Бакал Дж.* Нейтринная астрофизика. М., 1993.

Клоуз в финальной главе своей книги приводит рассказ неназванного «русского историка» о его попытке организовать с помощью офицера пресс-службы КГБ встречу с Понтекорво и записи беседы с ним. Ответ, который якобы дал Бруно Максимович, отказавшийся от такого общения, мог бы у всех, кто знал Бруно, вызвать только смех и презрение к лжецу, который его привел. Даже в страшном сне нельзя представить Бруно называющим себя великим ученым да еще использующим при этом матерные выражения. Вставив в книгу эту ложь, автор проявляет легкомысленную некомпетентность.

Не совсем корректно Клоуз уточняет вопрос о радиохимическом (конкретно хлор-аргонном) методе регистрации нейтрино. Клоуз ссылается на неизвестный ранее документ, датированный 21 мая 1945 г., в котором Понтекорво благодарит химика Ж.Гуерона и указывает на дискуссию с О.Фришем. Но это не соавторство указанных людей, а обычное научное обсуждение. Главное же, что Понтекорво начинает с чрезвычайной смелостью обсуждать совершенно фантастическую для той эпохи проблему — *возможность экспериментальной регистрации нейтрино*, казавшуюся совершенно немыслимой. Более поздний и более подробный отчет Понтекорво (с внутренним номером PD-205) для Национального исследовательского совета Канады датирован 20 ноября 1946 г. и опубликован в 1988 г. (русский перевод его содержится в книге [4]). Он поистине пророческий — обсуждает в качестве источников нейтрино Солнце, ядерные реакторы и ускорители.

Важно, что Понтекорво готовился к нейтринному эксперименту. Например, показал, что для регистрации радиоактивного ядра, образовавшегося в результате нейтринного облучения, необходимо использовать изобретенный им пропорциональный счетчик. Именно он позволит отделить наблюдаемый процесс от постороннего фона. К сожалению, по приезде в СССР, где уже работали мощные реакторы, Бруно Максимович не был к ним допущен из соображений секретности.

Хотя Понтекорво не смог осуществить сам многие свои идеи, он несомненно войдет в историю науки как один из наиболее выдающихся ученых XX века. Этим и объясняется неослабевающий интерес к его работам и судьбе. ■

# Рыцари великого закона

## К 175-летию открытия закона сохранения энергии

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

За перипетиями открытий фундаментальных законов угадываются судьбы их авторов: благополучные или несчастные, яркие по жизни или весьма скромные, вошедшие в историю или канувшие в вечность, подчас непохожие по интеллекту, интуиции, методам исследования и строгости мышления, но, как близнецы, неудержимо устремленные к поиску очередной научной истины. Такими были и наши герои.

Важнейшую роль в открытии закона сохранения энергии сыграли: Р.Майер (1814–1878) — немецкий врач, Дж.Джоуль (1818–1889) — английский физик, ученик Дж.Дальтона, и Г.Гельмгольц (1821–1894) — немецкий физиолог с широкими взглядами на природу. Первый из них пришел к открытию закона в 1840 г., второй — в 1843-м и третий завершил его обоснование в 1847 г.

Их научные исследования начались в тот период, когда предшественники пытались понять и объяснить, по словам философа Дж.Беркли, что представляют собой силы, «которые, как полагают, находятся в телах, запечатлеваются на телах, размножаются, делятся и передаются от одного тела к другому и которые, кажется, оживляют тела, подобно абстрактным духам или душам» [1, с.475].

Выигрышным психологическим моментом успешности творчества наших ученых было то обстоятельство, что все трое были довольно молоды (Джоулю было 25 лет, Майеру и Гельмгольцу — 26) и далеки от влияния официальной науки с ее авторитетами. Над ними не довлели прежние знания о силах, а потому во взглядах на работу и теплоту они сохранили независимость и самостоятельность.

При этом к открытию закона сохранения энергии они шли довольно разными путями: Майер («с ног до головы философ», как отозвался о нем Л.Больцман) — натурфилософским, Джоуль — экспериментально-эмпирическим, а Гельмгольц — теоретико-физическим, или математическим. Именно владение теоретическим методом физики

своей эпохи позволило последнему завершить дело, начатое его двумя предшественниками.

Риск Майера и Гельмгольца в этом деле был немалый, ибо они в самом начале еще не владели тайнами ремесла физиков. Позднее А.Эйнштейн замечает: «Удивительно, что почти все фундаментальные работы о природе теплоты были сделаны непрофессионалами, людьми, которые рассматривали физику исключительно как свое любимое хобби» [2, т.IV, с.390]. И, тем не менее, это было так.

### Богатство идей достойно удивления

Первый из наших героев — Юлиус Роберт Майер — родился 25 ноября 1814 г. в семье аптекаря в г.Хайльбронне (королевство Вюртенберг). В детстве он увлекался химическими и физическими приборами, однако, окончив семинарию, стал изучать медицину — сначала в Тюбингенском университете, а затем в Мюнхене и Вене. Получив степень доктора медицины и поработав в клинике Парижа, он отправился судовым врачом на о.Ява.

На судне Майер однажды обратил внимание на то, что венозная кровь у матросов была светлее, чем обычно в северных широтах, и приближалась по яркости к артериальной. Он предположил, что причина в различии разности температур человеческого тела и окружающей среды. Размышляя над этим фактом, он пришел к идее неразрушимости сил природы.

Исследователь выдвинул гипотезу о сохранении сил и сформулировал всеобщность закона сохранения энергии. Впервые свои взгляды на эту проблему он изложил в 1841 г. в рукописи статьи «О количественном и качественном определении сил», но ввиду ее полуфилософского содержания и малозначимости приведенных фактов журнал «Annalen der Physik und Chemie» ее не опубликовал и не вернул автору. Она была найдена в бумагах главного редактора И.Х.Поггендорфа спустя 36 лет после его смерти.

Вновь осмыслив и более четко обосновав свои взгляды и выводы о сохранения сил в природе, Майер представил их в статье «Органическое движение в связи с обменом веществ», изданной им за свой счет в виде брошюры в 1845 г. В этой работе он более внятно указал на эквивалентность затрачиваемой работы и производимого тепла, тем самым обосновав первый закон термодинамики. Основываясь лишь на теоретических размышлениях, ученый получил механический эквивалент тепла. Автор писал: «Сила\* как причина движения является неразрушимым объектом... Количественная неизменность данного есть верховный закон природы, распространяющийся как на силу, так и на материю. Можно доказать a priori и во всех случаях подтвердить на опыте, что... силы могут превращаться друг в друга. Эта сила в вечной смене циркулирует как в мертвой, так и в живой природе. Нигде нельзя найти процесса, где не было бы изменения силы со стороны ее формы» [3, с.93–94].

Майер в этой статье, во-первых, убеждает читателей на примерах из физики, химии и биохимии в следующем: «При всех физических и химических процессах данная сила остается постоянной величиной». Во-вторых, сопоставляя теплоемкости воздуха при постоянном объеме и давлении, он дает здесь более точное, чем в 1841 г., определение механического эквивалента теплоты. И в-третьих, отрицая вещественность теплоты и электричества, он утверждает, что «никаких нематериальных материй не существует» [3, с.127, 130].

Что касается механического эквивалента теплоты, то при его поиске он в 1842 г. выводит соотношение-уравнение  $y = pb$ , означающее, что при постоянном давлении за счет потраченного на расширение газа тепла ( $y$ ) вес ( $p$ ) может быть поднят на высоту ( $b$ ). Впоследствии это уравнение вошло в термодинамику как уравнение Майера уже в современном виде ( $C_p - C_v = R$ ), где разность молярных теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме дает универсальную газовую постоянную. Но, как и следовало ожидать, полученный им результат был далек от совершенства ввиду неточных значений теплоемкости воздуха, которыми он располагал в тот момент.

В этой работе исследователь подводит итоги как научного и мировоззренческого значения

\* В те времена термин «сила» использовался для обозначения как собственно силы, так и энергии.



Роберт Майер в том возрасте, когда им был открыт закон сохранения энергии (Popular Science Monthly. 1879. V.15. July. P.397).

предложенной теории, так и самого существа своего научного творчества, которому он посвятил все личные духовные и физические силы. Он считает свой труд не просто новым, но и своими выводами противоречащим существовавшим в тот момент взглядам на физическую реальность в вопросах природы теплоты и на роль силы (энергии) в ее исследовании, в измерении ее параметров и понимании самих процессов.

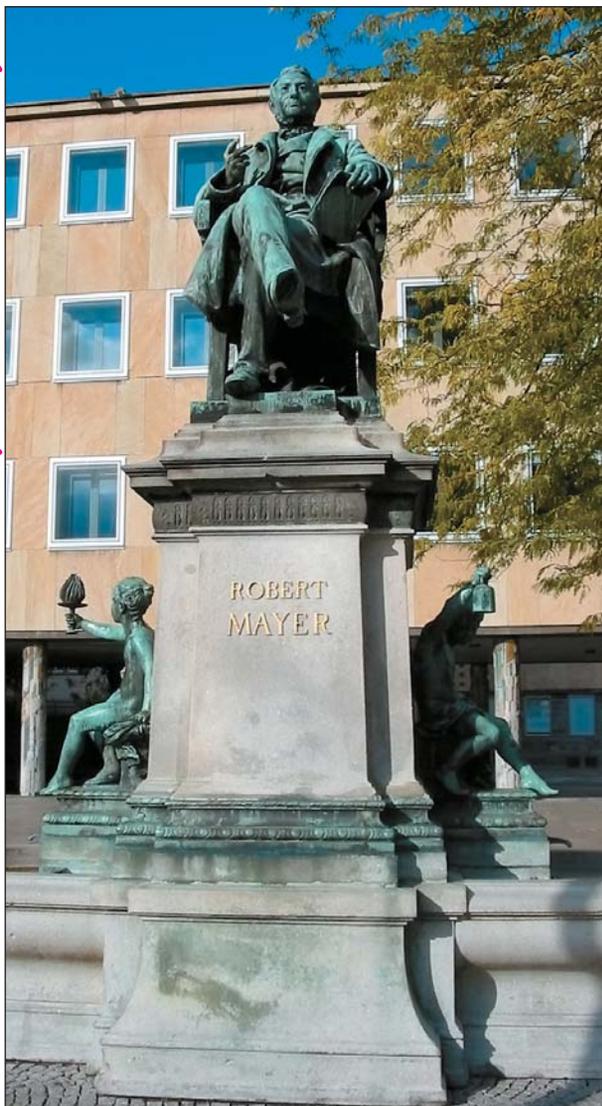
Майер вполне справедливо подчеркивает: «Мы сознаем, что мы ведем борьбу с укоренившимися и канонизированными крупнейшими авторитетами гипотезами, что мы хотим вместе с невесомыми жидкостями изгнать из учения о природе все, что осталось от богов Греции; но мы знаем также, что природа

в ее простой истине является более великой и прекрасной, чем любое создание человеческих рук, чем все иллюзии сотворенного духа» [3, с.130].

Итак, открытие закона сохранения энергии было выполнено Майером, но признание к нему пришло нескоро. Главная причина была в том, что он не воспринимал всерьез теорию теплорода, не был физиком в понимании научного сообщества: не владел в должной мере понятиями и методами науки и той строгостью рассуждений и выводов, что будут присущи Г.Гельмгольцу. Скорее всего, именно поэтому его работа и не была опубликована вовремя.

Труд Майера оставался незамеченным также и потому, что в исследовании этого закона профессиональные физики практически не участвовали. Только в 1862 г. на его работы обратили внимание Р.Клаузиус и Дж.Тиндаль, сыгравшие важную роль в установлении приоритета Майера в открытии самого закона. Эта оценка его заслуг вызовет острую дискуссию с участием У.Томсона, П.Тэта, Е.Дюринга и Г.Гельмгольца. Последний, кстати, высказался в пользу Майера: «Успехи естествознания зависят от того, что из существующих фактов образуются все новые обобщения, которые... могут быть сравнены путем опыта с действительностью. <...> Слава открытия принадлежит и тому, кто нашел новую идею; экспериментальная проверка после этого является более механическим способом работы. Невозможно также требовать, чтобы человек, открывший идею, должен был выполнить и вторую часть работы» [4, с.60].

Между тем пересуды вокруг труда Майера, его замалчивание вначале Джоулем, а затем Гельмгольцем и другими учеными породили острые споры



Памятник Р.Майеру в г.Хайльбронне, Баден-Вюртемберг.  
Фото Г.Делея (Gabriele Delhey), Wikimedia Commons

о приоритете, подорвавшие его здоровье. В итоге у Майера обнаружилось воспаление мозга, его поместили в лечебницу, а потом в психиатрическую больницу. Свою деятельность он возобновил лишь в 1862 г., но его силы были уже не те. 20 марта 1878 г. ученый скончался.

### Его опыты заслуживают глубочайшей похвалы

Джеймс Прескотт Джоуль родился в семье пивовара 24 декабря 1818 г. в г.Солфорде близ Манчестера. Получив домашнее образование, он под руководством известного физикохимика Дальтона изучал математику, физику и химию. Тогда же занялся электромагнетизмом, изобретением необходимых для исследований приборов. Свои рабо-

ты он посвятил также теплоте и кинетической теории газов.

В те годы, когда Майер был увлечен поисками закона единства сил природы, т.е. закона сохранения энергии, Джоуль, абсолютно не подозревая того, был лишь на пути к нему. Его приближение к закону началось с установления в 1841 г. зависимости количества теплоты, выделяемой в проводнике, от его сопротивления и величины тока в нем. Закон Джоуля—Ленца сегодня известен и школьнику. А труды Джоуля по электричеству выявили, помимо прочего, взаимосвязь теплоты и химических сил.

Ставя опыты, исследователь в 1843 г. обнаруживает практическую возможность превращения количества теплоты в механическую силу (мы понимаем под ней энергию), что позволяет ему опытным путем определить механический эквивалент теплоты и интуитивно перейти к признанию всеобщности закона сохранения энергии. Как раз с этого момента он ставит многочисленные опыты по определению механического эквивалента.

Обратимся к его эксперименту, выполненному в 1847 г. и сегодня изучаемому в школах и вузах: с помощью падающих грузов он заставлял ось с лопастями вращаться в металлическом калориметре с водой. Измеряя совершенную грузами работу и выделенную в самом калориметре теплоту, Джоуль получил механический эквивалент теплоты, равный 424.30 кГм/ккал. Таков был первый экспериментальный итог, подтвердивший закон сохранения работы и теплоты.

Свои измерения ученый повторял и позднее. В 1867 г. он провел их по просьбе Лондонского королевского общества, в 1870 г. повторил в присутствии Дж.К.Максвелла, Б.Стюарта, У.Томсона и П.Тэта. Если первые опыты Майера Гельмгольц критиковал за малое соответствие сложности изучаемого явления, то более «поздние опыты... произведенные с глубоким знанием дела и железной энергией, заслуживают глубочайшего удивления; эти опыты дали 425 кГм» [4, с.63].

После Майера и Джоуля измерением эквивалента теплоты занимались многие ученые (прежде всего Г.Гирн\* и А.Колдинг\*\*). При этом их методы и другие прямые методы, схожие прежде всего с основным методом Джоуля, приводили к одинаковым значениям механического эквивалента теплоты. (В современной трактовке 1 Дж = 10<sup>7</sup> эрг.) С 1889 г. джоуль был принят за единицу работы, а затем в системе СИ стал единицей работы, энергии и количества теплоты.

\* Густав Гирн (1815—1890) — французский физик и инженер, определивший в 1853 г. механический эквивалент теплоты методом удара.

\*\* Август Кольдинг (1815—1889) — датский инженер, измеривший эквивалент с помощью опытов по теплоте трения. Идею сохранения сил обосновывал теологически.

Экспериментальное обоснование закона сохранения для тепловой и механической энергии с легкой руки Р.Клаузиуса вначале называли первым началом механической теории теплоты, позднее известного как первое начало термодинамики. Согласно ему, термодинамическая система может совершать работу только за счет своей внутренней энергии или внешних источников энергии. Из него же вытекает невозможность существования вечного двигателя первого рода.

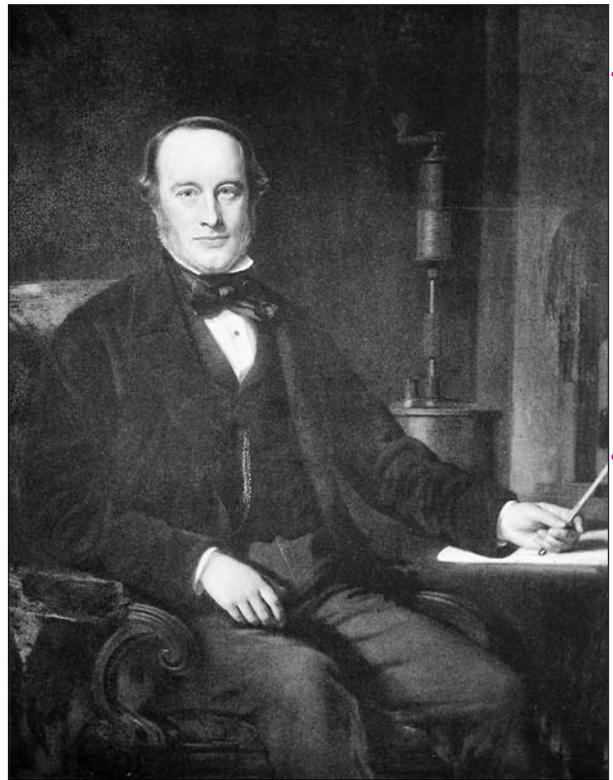
Между прочим, отношение Майера и Джоуля к самому закону сохранения энергии принципиально отличалось. Вот как об этом написал историк науки: «Джоуль — экспериментатор, опирающийся на хорошую теорию, но, как бы хороша она ни была, он непрерывно ищет все новые и новые методы ее доказательства. Майер ищет доказательства всеобщности теории, ее обобщения до уровня всеобщего закона природы механических, физических, химических и биологических явлений» [5, с.66].

Как заметил Гельмгольц, метафизически сформулированное доказательство этого закона «представляется каждому привыкшему к строгой научной методике естествоиспытателю... как наиболее слабое место его рассуждений, и это, несомненно, было причиной, почему работы Майера в естественнонаучных кругах оставались так долго неизвестными. И только благодаря мастерски поставленным работам Джоуля было обращено внимание на статьи Майера» [4, с.123].

В отличие от печальной и даже трагической жизни Майера, Джоулю, с детства обеспеченному человеку, судьба благоволила. Среди почестей, которых был удостоен этот ученый, золотая медаль Лондонского королевского общества (1852), медаль Копли — предшественница Нобелевской премии (1866), медаль Альберта (1880). Более того, в 1872 и 1877 гг. он избирался президентом Британской ассоциации по распространению научных знаний.

За свою достаточно продолжительную жизнь ученый опубликовал около 100 научных работ. Большинство из них было посвящено совершенствованию экспериментальной и измерительной аппаратуры. Часть его трудов о применении теории теплоты к теории газов, молекулярной физике и акустике была написана совместно с У.Томсоном. Сочинения Джоуля в виде двухтомника были изданы в 1884—1887 гг. Физическим обществом Лондона.

На начальных этапах деятельности ученый ставил эксперименты и занимался исследованиями исключительно на собственные средства — его отец был зажиточным владельцем пивоварни в Солфорде, да и сам Джоуль с 15 лет участвовал в ее управлении. Однако после продажи пивоварни в 1854 г. материальное положение постепенно ухудшилось, и пришлось пользоваться финансированием различных научных организаций, а в 1878 г. ему была



Джеймс Джоуль с установкой для измерения механического эквивалента тепла. Фотогравюра, предположительно 1913 г., по портрету работы Дж.Паттена (George Patten) 1863 г. (*Burgess R. Portraits of doctors & scientists in the Wellcome Institute. London, 1973. Fig.1549.1*).

назначена государственная пенсия. Страдая с детства болезнью позвоночника, он ввиду ухудшающегося здоровья последние годы уже не работал. Скончался ученый 11 октября 1889 г.

### Истинный представитель точного естествознания

Наш третий герой, Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц, родился 31 августа 1821 г. в г.Потсдаме (Бранденбург, Пруссия) в семье преподавателя гимназии. По окончании гимназии он, страстно интересуясь физикой, вынужден был целых восемь лет прослужить хирургом и поступить в Берлинскую военно-медицинскую академию. В 21 год он защищает докторскую диссертацию по физиологии, мечтая при этом о применении в ней методов физики и химии.

Последующие 40-летние исследования Гельмгольца в физике относятся к электродинамике (электрические колебания и др.), оптике (теория аномальной дисперсии), теплоте (термодинамическая теория химических процессов), физиологической акустике (резонансная теория слуха), гидродинамике (основы теории вихревого движе-

ния жидкости) и, конечно, к теоретизации закона сохранения энергии.

Обратимся к работе Гельмгольца «Сохранение силы». Подготовкой к ней стало увлечение физикой и математикой еще в гимназии, а затем и в академии и освоение навыков экспериментирования в ходе проведения физиологических исследований в лаборатории Г.Магнуса, позже — в собственной. В 1846 г. в «Обзоре теории физиологических тепловых явлений за 1845 г.» ученый объявил себя решительным сторонником кинетической теории тепла.

Как раз в эти годы формируется и даже применяется принцип постоянства эквивалента энергий при их взаимном превращении. Однако его опытное и теоретическое обоснование все еще отсутствовало. Гельмголец, не ведая о работах Майера и Джоуля, понимал, что от накопления опытных фактов, не противоречащих этому принципу, до его четкой качественной и тем более количественной формулировки предстоит весьма долгий и сложный путь.

Труд Гельмгольца «О сохранении силы» появился впервые в виде доклада на заседании Берлинского физического общества 23 июля 1847 г. и был напечатан позднее в форме брошюры. В отличие от работ Майера и Джоуля, он основательно



Герман Гельмголец в 1848 г., в возрасте 27 лет, спустя год после своего открытия. Дагерротип работы неизвестного фотографа (*Königsberger L. Hermann von Helmholtz / Trans. F.A.Welby. Oxford, 1906. P.58*).

насыщен математическими выражениями, относящимися либо к классической механике, либо к выводу энергетических соотношений, характерных для теории теплоты Карно—Клапейрона и электродинамики 1830—1840-х годов.

Опираясь на работы по математической физике и аналитической механике П.Лапласа, Ж.Био, С.Пуассона, К.Якоби и др., Гельмголец воспроизвел вывод закона сохранения энергии для системы частиц, связанных центральными силами. В итоге он доказал, что принятие «механического идеала единства физики» ведет к закону сохранения энергии, а также нашел математические выражения, описывающие сохранение энергии в них для немеханических классов явлений.

Таким образом, по выводам Гельмгольца, закон сохранения энергии в математической форме должен иметь вид:  $L + U = \text{const}$  (где  $L$  — кинетическая энергия,  $U$  — потенциальная). Ученый, возможно, не возражал бы против того, чтобы образная формула закона сохранения энергии, применимого для любых ее видов, в целях наглядности приняла бы вид: энергия = механическая (потенциальная и кинетическая) + тепловая + электромагнитная + другие формы энергии, которые будут найдены в будущем.

Выражая закон в математической форме, он под живой силой (термин ранее был введен в механику Г.В.Лейбницем) понимал кинетическую энергию материальных точек, а под количеством сил напряжения — потенциальную. Таким образом, нововведение Гельмгольца — это введение понятия потенциальных сил и энергии, что позволило в дальнейшем обобщить закон сохранения энергии на все разделы физики. В частности, опираясь на закон сохранения энергии, он вывел и закон электромагнитной индукции Фарадея.

Но физики и в эти годы все еще весьма болезненно реагировали на высказывания, которые выходили за рамки эмпирических данных, и потому продолжали мешать появлению в научных трудах и докладах общих теоретических рассуждений. Поэтому, подобно работам своих двух предшественников, работа Гельмгольца «О сохранении силы» «была сочтена за фантастическое умствование» [4, с.70] и не принята к публикации в «Annalen der Physik und Chemie» тем же Поггендорфом.

Но строгое обоснование существования в природе общего естественнонаучного закона постепенно овладевает умами отдельных физиков-профессионалов, прежде всего У.Томсона, Р.Клаузиуса и У.Ранкина. Первый с успехом применяет его к электромагнитной индукции, второй — к процессам в цепи постоянного тока и термоэлектричеству и, наконец, третий — к термодинамике. Таким образом, новый закон физики и естествознания в целом начал оправдывать свое существование.

Любопытно, что через много лет М.Планк по-считает нужным заметить, что «не следует говорить об «открытии» принципа сохранения энер-

гии. Новым в его сочинении было то, что Гельмгольц первым указал, что означает вышеназванный принцип, который в то время физическим кругам был почти совсем неизвестен, для каждого физического явления в отдельности. Он указал, к каким бесчисленным выводам ведет этот принцип повсеместно и как оправдывается на деле» [6, с.553].

Действительно, Гельмгольц в своих исследованиях этого закона пошел значительно дальше своих двух предшественников, показав его применение в иных областях физики и при этом не прекращая свою работу по осмыслению закона. С тех пор ученые знают, как рассчитать энергию электрического и магнитного полей, какое отношение имеют к закону источники электрического тока, электромагнитные силовые действия, электромагнитная индукция и электрические машины.

Уже позднее, уходя от принятого в работе 1847 г. механического способа рассмотрения закона, ученый после почти 40-летних усилий подойдет в итоге к общей проблеме определения структуры физических систем, для которых выполняется как закон сохранения энергии, так и остальные законы сохранения. В частности, его выводы о решающем значении принципа наименьшего действия пригодились впоследствии при разработке релятивистской и квантовой механики.

О сути метода Гельмгольца, обеспечившего ему успех в науке, Ф.Клейн написал: «Особый дар проводить количественные эксперименты, до виртуозности развитый им работой собственными руками, сочетался у него со способностью к математической формулировке проблемы, тоже развитой им собственноручными усилиями. <...> В общем же абстрактное мышление брало в нем верх над интуитивным подходом и творческой фантазией» [7, с. 250]. Действительно, в отличие от подходов Майера и Джоуля он владел также и теоретическим методом на уровне, достаточном для математического описания им процессов при сохранении энергии.

Именно теоретический подход Гельмгольца заставил ведущих физиков той эпохи, в том числе Дж.К.Максвелла, Л.Больцмана и М.Планка, признать закон сохранения энергии вполне обоснованным. Самого Гельмгольца с этого момента стали считать профессиональным физиком и позволили ему, профессору физиологии, в дальнейшем занимать должность профессора физики в Берлинском университете, а с 1888 г. — президента Физико-технического имперского ведомства (Physicalisch-Technische Reichsanstalt).

8 сентября 1894 г. Гельмгольц скончался. После него остались его научные открытия, более 200 работ и популярных статей, шесть томов теоретической физики и ученики, отдельные из которых стали крупными учеными. На его смерть отреагировало мировое научное сообщество. С прощальными речами выступили Э.Дюбуа-Реймон в Берлине, У.Томсон в Лондоне, А.Г.Столетов в России и т.д.



Статуя Г.Гельмгольца перед Университетом им.А.Гумбольдта (Берлин). Скульптор Э.Хертер (Ernst Herter), 1899 г.

Фото Х.Вольфа (Christian Wolf)  
www.c-w-design.de

## Разные обстоятельства — разные итоги и судьбы

Итак, Майер, Джоуль и Гельмгольц. Их творчество обогатило мировую науку открытием и осмыслением одного из фундаментальных законов природы — закона сохранения энергии. Но как по-разному сложились их судьбы!

Претендуя на признание в физике, Майер в ответ испытал немало насмешек и гонений, пережил попытку самоубийства и принудительное лечение, а в конце — забвение. Лишь спустя 20 лет сообщество ученых признает его приоритет в открытии закона. Недоверие, но в значительно меньшей мере испытали со стороны коллег Джоуль и Гельмгольц, на преодоление которого и тому и другому пона-

добилось время. Их спасла лишь репутация серьезных и уже известных ученых. К тому же у Майера не было лаборатории, в то время как Джоуль смог создать собственную, а Гельмгольц имел право работать в университетской. Первый так до конца жизни и не удостоился никаких почестей, второй в 32 года был избран в Лондонское королевское общество, а третий в 50 стал членом Берлинской академии наук и затем ряда зарубежных, а также первым президентом Физико-технического имперского ведомства, сыгравшего важную роль в развитии науки в Германии.

И наконец, материальное благополучие, полное или частичное признание личного вклада в становление и развитие физики, разного рода физические недомогания и душевные переживания, вплоть до нервных срывов, — все это сказало на продолжительности их жизни. Майер прожил 63 года, Джоуль — 71, Гельмгольц — 73. В XXI в. Майера помнят лишь историки науки, Гельмгольцу же и Джоулю повезло гораздо больше: их почитают и взрослые, и дети.

В жизни они обладали разной мерой таланта, знаний и умений, вдохновения и терпения. Единственное, что объединяло их, — это целеустремленные и настойчивые поиски единства сил природы. И если вначале в открытом ими законе тесно переплетались физика и философия, то потом они сделали немало, чтобы закон сохранения энергии, конкретизируясь и уточняясь, из философского толкования преобразовался в приемлемое для науки количественное определение.

По воле случая первым рыцарем идеи сохранения стал Майер. Спустя 60 лет после его открытия А.Пуанкаре напишет: «Никто не сомневается в том, что принципу Майера предстоит пережить все частные законы, из которых он был извлечен, подобно тому, как закон Ньютона пережил законы Кеплера, послужившие его источником. <...> Величайшая простота принципа Майера способствует укреплению нашей веры в него» [8, с. 86].

Очевидная простота закона сохранения энергии прочно вошла в сознание ученых, проявив себя в реализации его формулировки. От лица сообщества ученых той эпохи Планк писал: «Мы говорим, что общее количество энергии в замкнутой системе тел не может быть ни увеличено, ни уменьшено в результате каких-либо процессов, происходящих внутри системы» [6, с.617]. К тому же сам закон стал первым шагом к осуществлению системы единства в физике.

Его открытие, по замечанию Эйнштейна, «привело физиков к мысли о возможности дальнейшего расширения закона сохранения энергии — применительно к химическим и электромагнитным процессам и вообще ко всем процессам. Оказалось, что в нашей физической системе именно полная сумма энергий остается постоянной независимо от характера возможных превращений» [2, т. II, с.654].

Как отметил Максвелл, этот закон «говорит нам, что при изучении любого нового явления нашим первым вопросом должно быть: каким образом объяснить это явление с точки зрения превращения энергии? Какова первоначальная форма энергии? Каков ее конечный вид? И каковы условия ее превращения?» [9, с.177]. С теоретизацией физики формулировки закона претерпели изменения.

## О времена! О нравы!

В конце XIX в., даже несмотря на открытие рентгеновских лучей, радиоактивности, электрона и, наконец, кванта энергии, физики продолжали крепко держаться за классическую науку, в том числе и за ее выдающееся завоевание — закон сохранения энергии. Ибо, по их убеждению, он, во-первых, при любых обстоятельствах универсален и нерушим, а во-вторых, позволяет постигать новые явления.

Однако XX век благодаря М.Планку, А.Эйнштейну, Н.Бору, В.Гейзенбергу и др. стал веком теории относительности и квантовой механики, потрясшим самые основы классической физики, и взбудоражил творческое воображение молодых ученых, посягнувших на прочность ее прошлых завоеваний, еще вчера казавшихся незыблемыми поколению отцов физической науки. Этот «нигилизм» в отношении к прошлому науки отчасти задел и закон сохранения энергии.

В 1902 г. Эйнштейн знакомится со статьями Гельмгольца в Берне и анализирует его мнение, что понятия геометрии взяты из реальной жизни, а ее построения в конечном счете представляют собой утверждения о реальных телах, в 1917 г. охотно рецензирует книгу Гельмгольца «Два доклада о Гёте», а в 1955 г. в «Эволюции физики» цитирует замечания о «наиболее ясно» сформулированном Гельмгольцем механистическом мировоззрении [2, т. IV, с.395].

В 1905 г. Эйнштейн создает специальную теорию относительности (СТО). После ее появления при описании движений со скоростями, сравнимыми со скоростью света, знаменитая ньютоновская механика была заменена релятивистской. При этом оказалось, что масса тела не зависит от его скорости [10] и, следовательно, характеризует не только количество материи, но и ее движение. Полная энергия тела оказалась пропорциональна его массе:  $E = mc^2$ . «Таким образом, закон сохранения энергии в специальной теории относительности естественным образом объединил законы сохранения массы и энергии, существовавшие в классической механике; по отдельности эти законы не выполняются, т.е. невозможно охарактеризовать количество материи, не принимая во внимание ее движения и взаимодействий» [11, с.701—702]. Как видим, в СТО существует весьма тесная связь между энергией и массой.

С рождением новой теории начинается встраивание в нее законов прежней физики, в ходе которого одни законы остаются неизменными, другие же в чем-то меняются, а порой и отбрасываются как неверные. В 1915 г. Эйнштейн создает общую теорию относительности, а в 1918-м формулирует закон сохранения энергии для своей теории [2], достаточно корректно, как он считал, обосновывая справедливость выведенного им уравнения, уже несхожего с классическим.

Но так как энергия представляет собой величину, сохраняющуюся из-за однородности времени, а в общей теории относительности (ОТО), в отличие от специальной, время неоднородно, то закон сохранения энергии может быть выражен в теории гравитации, каковой и является ОТО, только локально. Локальный же закон сохранения энергии-импульса в общей теории относительности существует как следствие уравнений Эйнштейна.

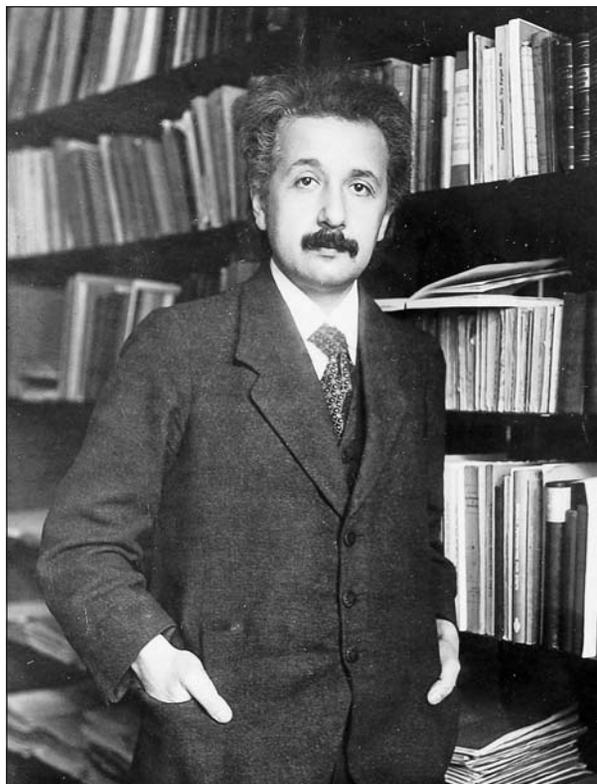
Между тем приключения закона сохранения энергии в событиях, порождаемых новой физикой, не прекращались и в последующие годы. Как правило, в одних случаях на него опирались в поисках и обосновании действительности новых объектов физической реальности, в других же, выводя очередные математические формулы для таких объектов, истинность этих формул определяли действием самого закона. Так было, например, при открытии эффекта Комптона, нейтрона и т.д.

Действительно, в квантовой механике и физике элементарных частиц были случаи, когда предлагались новые, еще не обнаруженные частицы (например, нейтрино), чтобы спасти существование этого закона и в микромире. На самом деле, когда физики столкнулись со «странностями» квантового мира и трудностями его разгадки, они подчас допускали, что даже такой фундаментальный закон, как закон сохранения энергии, в квантовых масштабах может нарушаться.

Так посчитал в 1931 г. и Н.Бор при разгадке спектра  $\beta$ -распада. Согласно же В.Паули, закон сохранения выполняется, если допустить, что «испускание  $\beta$ -частиц сопровождается проникающей радиацией из нейтральных частиц, которая до сих пор не обнаружена. Сумма энергий  $\beta$ -частицы и нейтральной частицы, испущенных ядром, равна энергии, соответствующей верхней границе  $\beta$ -спектра» [12, с.393–394]. В 1956 г. нейтрино (а точнее, антинейтрино) было обнаружено, в итоге закон сохранения остался невредимым.

### Закон сохранения энергии в современной науке

По мнению А.Пуанкаре, в XX в. закон сохранения энергии мог быть сформулирован так: «Так как мы не можем дать общее определение энергии, то принцип сохранения энергии просто означает,



Альберт Эйнштейн у стеллажей домашней библиотеки Пауля Эренфеста. Лейден, 1916 г. Фото П.Эренфеста. Музей Бургаве в Лейдене (Нидерланды).

что существует *нечто*, что остается постоянным. Если так, то сколько бы новых сведений о мире ни дал нам будущий опыт, мы заранее уверены, что будет нечто, остающееся постоянным, что мы сможем назвать *энергией* [8, с.105].

В статье Эйнштейна «Закон сохранения энергии в общей теории относительности», опубликованной в 1918 г., мы прочтем следующее: «Согласно закону сохранения энергии, для каждой изолированной системы существует соответствующим образом определенная, просуммированная по всем ее частям величина — энергия, которая не изменяет своего значения с течением времени, какой бы характер ни носили процессы, происходящие в системе» [2, т.I, с.650].

Спустя следующие полвека, согласно уже Р.Фейнману, читавшему свои знаменитые лекции студентам, закон сохранения энергии утверждает, что «существует определенная величина, называемая энергией, которая не меняется ни при каких превращениях, происходящих в природе. Владейте формулами для всех видов энергии, мы могли бы узнавать, не вдаваясь в детали, сколько процессов происходит в таком-то явлении» [13, с.72, 83].

В целом же история физики полна поисков самых разных видов закона сохранения: сохранения массы, той же энергии, импульса движения, электрического заряда, четности и др. По сути своей это

«Физические закономерности, согласно которым численные значения некоторых физических величин не изменяются со временем в любых процессах или в определенном классе процессов» [11, с.701].

Итак, закон сохранения энергии — фундаментальный закон природы, утверждающий, что для изолированной системы может быть введена скалярная физическая величина, являющаяся функцией параметров системы и называемая энергией, которая сохраняется с течением времени. На этом судьба закона не заканчивается и вряд ли когда-нибудь закончится.

В 1918 г. немецкий математик А.Э.Нётер обнаружила, что каждому закону сохранения соответствует определенный тип симметрии. С этого момента ее теоремы занимают прочное место в теоретической физике. Поиск законов сохранения в теории сводится к выявлению одной или нескольких симметрий этой теории. А знание симметрии позволяет ученым выявлять ранее неизвестные законы сохранения. Так, симметрии относительно переносов во времени соответствует закон сохранения энергии, для переносов в пространстве — закон сохранения импульса, относительно вращения в пространстве — закон сохранения момента импульса, для пространственно-временного вращения — закон сохранения центра масс и т.д. Взаимосвязь симметрии и законов сохранения особенно заметно проявляется в микромире.

С развитием математической физики и осмыслением самого закона сохранения энергии изменялась и его математическая формулировка. Закон эквивалентен утверждению, что система дифференциальных уравнений, описывающая динамику данной физической системы, обладает первым интегралом движения, связанным при этом с симметричностью уравнений относительно сдвига во времени.

Как видим, нынешняя физика, оперируя принципами симметрии и учитывая свои новые открытия, внесла определенные изменения в формулировку и формулу закона сохранения энергии. В связи с этим и другими обновлениями науки согласим-

ся с Л.Б.Окунем в том, что «на ландшафт современной физики надо смотреть не из оврага истории, а с вершины принципов симметрии» [10, с.662].

Поскольку закон сохранения энергии относится не к конкретным величинам и явлениям, а отражает общую, применимую везде и всегда фундаментальную закономерность, его можно именовать *принципом сохранения энергии*. При этом выполнение закона в каждой конкретно взятой системе обосновывается подчинением этой системы своим законам динамики, различающимся для разных систем.

Следует согласиться с физиком-теоретиком М.Б.Менским, который однажды заметил: «Эволюция закона сохранения энергии показывает, что законы сохранения, будучи почерпнутыми из опыта, нуждаются время от времени в экспериментальной проверке и уточнении. Нельзя быть уверенным, что с расширением пределов человеческого опыта данный закон или его конкретная формулировка останутся справедливыми» [11, с.702].

Действительно, если в системе нет однородности времени, энергия уже не сохраняется. Пример такой системы — наша Вселенная, которая пока расширяется. Она не такая, как в прошлом, она изменится и в будущем. Поэтому во Вселенной нет однородности времени и для нее закон сохранения энергии неприменим. Более того, энергия всей Вселенной в целом вряд ли сохраняется.

С другой стороны, на достаточно коротких расстояниях и за достаточно короткий промежуток времени, которые присущи квантовому миру (например, в экспериментах на современных ускорителях), энергия сохраняется локально, но какие-то утверждения относительно глобального сохранения должны делаться с большой осторожностью.

К тому же экспериментальная физика, исследуя истинность закона сохранения энергии, имеет дело с ограниченной частью природы, и потому мы не можем определенно сказать, как поведет себя этот закон в больших масштабах, вплоть до размеров Вселенной. Следовательно, в будущем его могут ожидать самые невероятные приключения. ■

## Литература

1. Беркли Дж. Сочинения. М., 1978.
2. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т.1, II, IV. М., 1965—1967.
3. Майер Р. Закон сохранения и превращения энергии. Четыре исследования, 1841—1851. М., 1933.
4. Гельмгольц Г. О сохранении силы. М., 1934.
5. Франкфурт У.И. Закон сохранения и превращения энергии. М., 1978.
6. Планк М. Избранные труды. М., 1975.
7. Клейн Ф. Лекции о развитии математики в XIX столетии: В 2 т. Т.1. М., 1989.
8. Пуанкаре А. О науке. М., 1983.
9. Максвелл Д.К. Статьи и речи. М., 1968.
10. Окунь Л.Б. Теория относительности и теорема Пифагора // Успехи физических наук. 2008. Т.178. №6. С.653—663.
11. Менский М.Б. Сохранения законы // Физический энциклопедический словарь. М., 1983. С.701—702.
12. Паули В. К старой и новой истории нейтрино // Теоретическая физика 20 века. М., 1962. С.386—412.
13. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып.1, 2. М., 1976.

# Новости науки

## Астрофизика

### Тайна облака G2

Весной 2014 г. в нашей Галактике произошло необычное астрофизическое событие: расположенная в ее центре сверхмассивная черная дыра Sagittarius A\* (Sgr A\*), в 4.3 млн раз превышающая массу Солнца, не смогла поглотить газопылевое облако G2, когда оно подошло к точке максимального сближения с радиисточником.

Открытое в конце 2011 г. с помощью телескопа VLT (Very Large Telescope) Европейской южной обсерватории (European Southern Observatory — ESO, Чили), G2 радиусом около 20 млрд км двигалось по эллиптической орбите вокруг центра Галактики. По расчетам, в мае 2014 г. оно должно было подойти к Sgr A\* на крайне близкое по космическим меркам расстояние в 22.5 млрд км (это примерно в 150 раз дальше, чем наша планета находится от Солнца). Под действием приливных сил от черной дыры, вызванных интенсивной гравитацией, Sgr A\* должна была «разорвать» облако на части и начать аккрецировать (поглощать) массу его вещества, выделяя при этом большое количество энергии, в том числе в виде рентгеновского излучения.

Интерес к ожидаемому событию был невероятно высоким, потому что встречу столь крупного объекта с черной дырой астрономам до этого наблюдать не приходилось. А она могла бы раскрыть многие тайны самой черной дыры и ее взаимодействия с обычной материей. Для наблюдения за драматическим развитием сюжета были сформированы международные команды, которые использовали разнообразные приборы и телескопы, контролировавшие поведение центральной области Галактики. Однако поглощения так и не произошло.

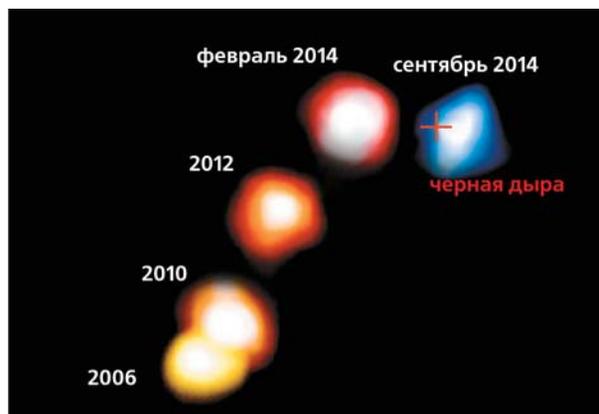
Сотрудники ESO сообщили, что газопылевое облако после максимального сближения с Sgr A\* осталось «живым». На инфракрасных снимках, сделанных с помощью телескопа VLT, было видно, что G2 компактно, оно не потеряло своего объема. После приближения к космическому «монстру», отмечали ученые, скорость его движения выросла до  $3 \cdot 10^6$  м/с. При этом сначала облако двигалось от Земли, а после приближения к дыре — в направлении нашей планеты. Признаков того, что G2 растягивается или распадается, не было.

Исследователи измерили также поляризацию света в районе черной дыры и пришли к выводу, что вещество, которое она притягивает, остается неизменным.

Прошло больше года с момента того события, но астрономы до сих пор выясняют, как облаку удалось выжить. Задолго до сближения загадочного объекта с Sgr A\* выдвигалось несколько версий относительно его физической природы. Одна из них принадлежала сотрудникам Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики в Кембридже (Массачусетс, США) Р.Мюррей-Клэю и А.Лёебу, которые предположили, что G2 может быть видимым следом протопланетного диска, окружающего молодую маломассивную звезду\*. Свои выводы ученые подкрепили результатами компьютерной симуляции, согласующимися с наблюдаемыми параметрами облака.

Новизна их работы заключалась в утверждении, что планеты могут формироваться даже в мощном гравитационном поле гигантской (крупнейшей в Галактике) черной дыры. Ранее считалось, что центр Галактики по причине интенсивных воздействий ударных волн от частых сверхновых и гравитационных сил сверхмассивных черных дыр плохо подходит для возникнове-

\* Murray-Clay R, Loeb A. Disruption of a proto-planetary disc by the black hole at the Milky Way centre // Nature Communication. 2012. Doi:10.1038/ncomms2044.



Комбинированное изображение, отражающее движение облака G2 с 2006 по 2014 г. Положение сверхмассивной черной дыры обозначено крестом.

Изображение ESO

ния и эволюции протопланетных дисков. Поэтому сама идея их появления в таком месте казалась неуместной. Однако Мюррей-Клэй и Лёб обратили внимание на то, что кольцеобразная газовая структура G2 близка к группе молодых звезд, вращающихся в 0.03—0.04 пк (примерно 0.1 св. года) от Sgr A\*. Астрономы уже открыли тут дюжины ярких звезд спектрального класса O, что почти неизбежно означает наличие в этом районе, возможно, сотен более тусклых звезд с такой же массой, как Солнце, или меньшей. G2 могло сформироваться из вещества соседних молодых массивных звезд, быстро теряющих массу в виде сильного звездного ветра. В силу слабой светимости саму звезду нельзя рассмотреть, однако ее протопланетный диск подсвечивается ультрафиолетовым излучением от окружающих молодых светил и по мере продвижения к Sgr A\* деформируется массивной черной дырой (именно поэтому его и смогли заметить земные астрономические инструменты).

Сразу после того как G2 прошло критическую точку сближения с Sgr A\*, несколько исследовательских групп на основе полученных снимков начали высказывать новые гипотезы о его природе. При некоторых различиях все сходилось на том, что это не просто облако, оно окружает плотный объект с массивным ядром. А.Гез и ее коллеги из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, используя данные двух телескопов Обсерватории Кека (W.M.Keck Observatory) на Гавайях (США), предположили, что, скорее всего, G2 — пара двойных (бинарных) звезд, которые вращаются вокруг черной дыры в тандеме и сливаются в невероятно большую звезду, окутанную газом и пылью, и этим процессом управляет Sgr A\* с помощью мощного гравитационного поля\*. Сейчас облако претерпевает процесс растяжения — распространенное явление вблизи источников гравитации, когда объекты становятся вытянутыми. Однако не все считают версию калифорнийцев доказанной.

Недавно свое объяснение физической природы облака (наиболее правдоподобное с точки зрения многих исследователей) дали А.Экерт из Университета Кельна (Германия) и его коллеги\*\*, которые в течение многих лет с помощью VLT наблюдали за объектом, включая период его сближения с Sgr A\*. G2, по их мнению, — это молодая звезда, только начавшая свое формирование. Сейчас она представляет собой сжимающееся плотное газопылевое облако, ядро которого пока нам не видно из-за его пылевой «шубы». Однако в будущем G2 может стать полноценной звездой, по размеру и массе близкой к Солнцу, если его не уничтожит черная дыра. Уче-

ные уверены, что наделавший много шума таинственный галактический объект еще долго будет предметом их пристального интереса.

Nature. 2015. Doi:10.1038/524301a.

## Планетные исследования

### Марс под влиянием солнечного ветра

5 ноября 2015 г. на пресс-конференции Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА, США) были представлены результаты исследования Марса с помощью американской орбитальной станции MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution — Эволюция атмосферы и летучих веществ на Марсе), опубликованные в ведущих международных журналах «Science» и «Geophysical Research Letters». Как следует из названия аппарата, выведенного на орбиту 21 сентября 2014 г., научная программа MAVEN целиком посвящена изучению атмосферы Красной планеты.

Участники пресс-конференции сконцентрировали внимание, в частности, на роли солнечного ветра — потока заряженных частиц от Солнца — в потере Марсом своей атмосферы и воды. Измерения потока ионов, уносимых солнечным ветром, который обдувает планету, позволили оценить величину потерь марсианской атмосферы: 100 г в секунду. Если сравнить ее с массой современной атмосферы, то можно утверждать, что за миллиарды лет, прошедших со времени образования Солнечной системы, Марс потерял большую часть своей атмосферы, а вместе с ней — и воды.

Учитывая пристальное внимание к Красной планете в настоящее время и перспективу ее колонизации, вполне понятно широкое освещение результатов американских исследований. НАСА всегда серьезно относилось к пропаганде знаний в этой области, понимая, что она обеспечивает поддержку населением космической программы вообще и научных исследований в частности, а значит, и значительное финансирование работ. Программа США по изучению Солнечной системы — нашего «большого дома» от Меркурия до Плутона и дальше — производит впечатление, и надо поздравить американских ученых и инженеров с успехом в этих фундаментальных областях.

Но стоит напомнить, что внимание к Марсу и его атмосфере давно проявляют и российские специалисты. В 1970-х годах первыми на орбите спутников планеты появились советские станции «Марс-2, -3, -5», на которых были установлены приборы для исследования взаимодействия солнечного ветра с Марсом. С их помощью удалось открыть магнитосферу планеты и зарегистрировать поток атмосферных ионов, уносимых солнечным ветром. Уже тогда мы с молодой коллегой по Институту космических исследований (ИКИ) РАН А.В.Богдановым опубликовали результаты и сделали вывод, что

\* Witzel G., Ghez A., Morris M. et al. Detection of Galactic Center Source G2 at 3.8 mm during Periaipse Passage // Astrophys. J. Lett. 2014. Doi:dx.doi.org/10.1088/2041-8205/796/1/L8.

\*\* Valencia-S.M., Eckart A., Zajacek M. et al. Monitoring the dusty s-cluster object (dso/G2) on its orbit toward the galactic center black hole // Astrophys. J. Lett. 2015. Doi:10.1088/0004-637X/800/2/125.

именно огромный поток уносимых солнечным ветром ионов привел к потерям марсианской атмосферы\*. По нашим оценкам, темп потери вещества из атмосферы (речь шла об элементах тяжелее водорода) составлял около 250 г в секунду.

Наши результаты были подтверждены в 1988 г. в экспериментах на советском спутнике Марса «Фобос-2», а также на спутнике «Mars Express» Европейского космического агентства (European Space Agency). Многолетние исследования атмосферных потерь Марса обобщены в работе, недавно опубликованной в журнале «Planetary and Space Science»\*\*.

В 1984 г. вместе с Л.М.Зеленым, ныне директором ИКИ РАН, а тогда молодым сотрудником института, мы разработали и опубликовали модель взаимодействия солнечного ветра с атмосферой планеты без собственного магнитного поля (она касалась и Венеры, и Марса). При этом полагались в значительной мере на собственные экспериментальные данные, полученные благодаря советским спутникам\*\*\*. Тогда мы объяснили физический механизм, приводящий к захвату потоком солнечного ветра атмосферных ионов. Мы также предсказали образование специфической плазменной оболочки кометы и полностью подтвердили это предположение в 1986 г. при пролете советских космических аппаратов вблизи кометы Галлея. Таким образом, явление атмосферных потерь Марса под влиянием солнечного ветра и их роль в эволюции атмосферы планеты не стали чем-то новыми для научного сообщества. И очень жаль, что во время пресс-конференции НАСА коллеги не сочли нужным сослаться на ранние результаты.

\* *Vaisberg O.L., Bogdanov A.B., Smirnov V.N., Romanov S.A.* Первые результаты измерений потоков ионов прибором «РИЭП-2801 М» на АМС «Марс-4» и «Марс-5» // Космические исследования. 1975. Т.ХIII. Вып.1.

\*\* *Vaisberg O.L.* Mars atmospheric losses induced by the solar wind: Comparison of observations with models // Planetary and Space Science. 2015. Doi:10.1016/j.pss.2015.09.007.

\*\*\* *Vaisberg O.L., Zelenyi L.M.* Formation of the plasma mantle in the Venusian magnetosphere // Icarus. 1984. V.58. P.412–430.

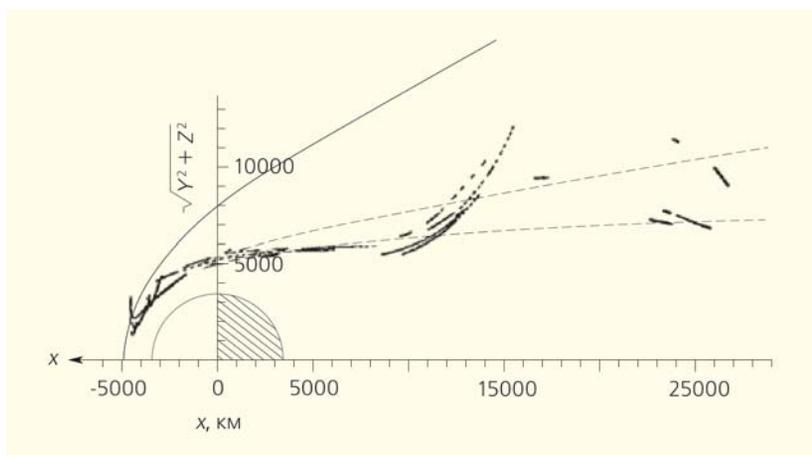


Рис.1. Пограничный слой ускользящих атмосферных ионов в магнитосфере Марса по измерениям на «Марсе-2, -3 и -5» в 1971—1974 гг. (Из статьи автора 1975 г.)

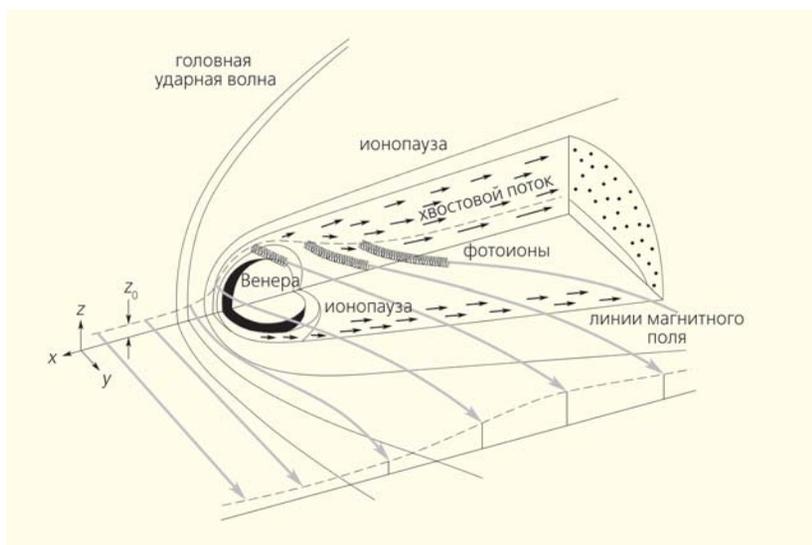


Рис.2. Модель взаимодействия солнечного ветра с атмосферой немагнитной планеты (Венеры). Стрелками показано, как планетарные ионы захватываются магнитным полем солнечного ветра и ускользят через образованный при этом магнитный хвост. (Из статьи автора 1984 г.)

Радуюсь успехам американских партнеров, я с сожалением констатирую, что из-за потерь отечественных космических аппаратов «Марс-96» (1996) и «Фобос-Грунт» (2011) и отсутствия конкретных планов запуска нашего космического аппарата к Марсу российские ученые пока ограничены в важнейшей практической работе по исследованию Красной планеты. Но надеюсь, что у нас вскоре появится хорошая возможность «пощупать» новые данные, полученные на отечественных межпланетных станциях.

© **Вайсберг О.Л.**,

доктор физико-математических наук  
Институт космических исследований РАН  
Москва

### Как уровень серотонина матери определяет тип поведения потомков?

Жизненный успех любого организма непосредственно связан с его способностью приспосабливаться к условиям внешней среды. И чем раньше начнется такая адаптация, тем больше шансов на выживание. Известно, что уже в утробе матери зародыш получает информацию, подготавливающую его к условиям, с которыми он встретится существенно позже — после рождения или вылупления. Механизмы, с помощью которых такая негенетическая информация о внешнем мире передается зародышам, почти не изучены.

Российские ученые из Института биологии развития и отдела исследований мозга Научного центра неврологии совместно с сотрудниками группы биологии развития и регенеративной медицины Каролинского института (Швеция) показали, что в передаче сигнала от матери потомству участвует серотонин\*. Это не только нейромедиатор центральной нервной системы животных, но и нейрогуморальный фактор, работающий в течение всей жизни. Он содержится уже в оплодотворенной яйцеклетке и вовлечен в такие важные процессы, как свертывание крови, работа желудочно-кишечного тракта, регуляция сна, настроения, памяти и др.

Моделью для исследований служили пресноводные моллюски — большие прудовики (*Lymnaea*

*stagnalis*). В лабораторных условиях они размножаются круглый год. Оказалось, что поведение молодых (возраста 12–25 дней) особей, вылупившихся из яиц весной-летом и осенью-зимой, сильно различается. Первые мало едят и медленно растут, зато более жизнестойкие, активно ползают, вылезают из воды и прикрепляются к разным объектам. Вторые, наоборот, много едят, быстро растут, мало передвигаются и не стремятся расселяться. Что же предопределяет стратегию поведения молодых улиток?

Исследователи три года наблюдали за колонией из 300 улиток, измеряли уровень серотонина в различных органах, следили за поведением потомков. Выяснилось, что в половом тракте улитки-матери, там, где происходит созревание яйцеклетки, находится нейронная сеть, уровень серотонина в которой максимален летом и минимален осенью. А бластомеры зародыша способны не только активно захватывать серотонин, но и самостоятельно его синтезировать. Ученые выяснили, что от соотношения уровня серотонина внутри бластомеров и снаружи зародыша зависят темпы развития и характер локомоторной активности потомков. Получается, что именно посредством серотонина улитка-мать сигнализирует потомкам, какую стратегию поведения избрать, чтобы в определенный сезон наилучшим образом выжить и расселиться.

Ученым удалось «обмануть» природу: экспериментально перевести осенних улиточек в летних, повысив уровень серотонина в половых путях их родителей. Они ввели в осеннее время группе материнских особей прудовиков предшественник серотонина (5-гидрокситриптофан). Потомство, появившееся на свет осенью же, по поведению было летним: маленькие улитки активно перемещались, меньше интересовались едой и медленнее росли.

Авторы статьи изучили механизм действия серотонина, программирующий тип поведения юных улиток. Оказалось, что такой материнский сигнал воздействует на поведение зародышей только в самый ранний период эмбрионального развития — задолго до формирования нервной системы. В это время серотонин работает не только обычным способом — активируя рецепторы на поверхности клеток, но и внутри них. Если на чувствительной стадии заблокировать реакцию связывания серотонина с внутриклеточными белками (серотонилирование), то изменений в поведении не произойдет.

Сравнивая лабораторных моллюсков и живущих в природе, удалось понять, для чего же нужна такая выраженная сезонная подстройка развития и поведения. Несмотря на отсутствие стадии плавающей личинки, большие прудовики — один из самых успешных видов пресноводных моллюсков, живущих в непроточных водоемах по всему голарктическому региону. Молодые улитки расселяются, прикрепляясь к перьям водоплавающих птиц. И вот тут-то летние особи, обладающие по-

\* Ivasbkin E., Khabarova M.Y., Melnikova V. et al. Serotonin mediates maternal effects and directs developmental and behavioral changes in the progeny of snails // Cell Rep. 2015. V.12. P.1144–1158. doi:10.1016/j.celrep.2015.07.022

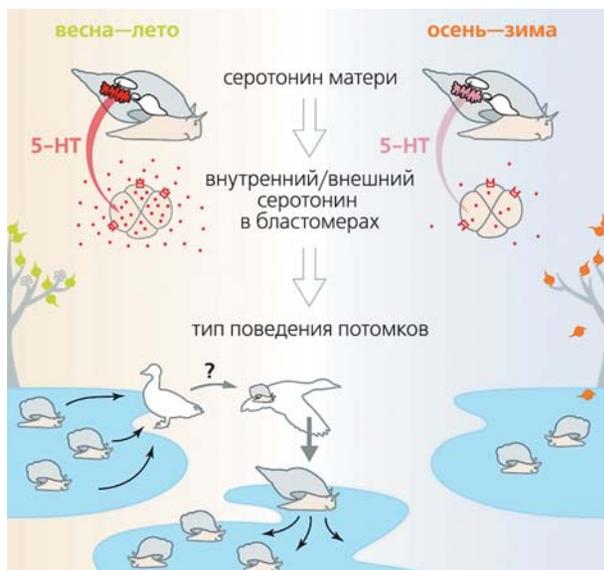


Схема влияния материнского серотонина (5-НТ) на поведение потомков у большого прудовика (*Lymnaea stagnalis*, Mollusca).

вышенной двигательной активностью, лучшей выживаемостью и повышенной яйценоскостью, получают несомненные преимущества в захвате и освоении новой среды обитания.

Серотонинергическая система высококонсервативна и встречается у эволюционно далеких групп животных. Полученные результаты указывают на то, что обнаруженный механизм универсален и участвует в реализации длительных, отставленных эффектов. А характер пластичной подстройки поведения молодых животных закладывается еще в самом раннем эмбриогенезе.

© **Воронезская Е.Е.**,

доктор биологических наук

Институт биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН  
Москва

## Археология

### Культура вальдивия: возможности трансокеанских контактов в Пасифике

В сентябре 2015 г. в Эквадоре работала первая российско-эквадорская археологическая экспедиция, которая продолжила начатые в 2013 г. исследования комплекса Реаль-Альто, опорного памятника культуры вальдивия — одной из древнейших в Новом Свете, которая существовала в период между 3500 и 1800 г. до н.э. на территории современной провинции Санта-Элена. Работы стали частью большого проекта «Междисциплинарное исследование закономерностей и локальных особенностей формирования ранних комплексных обществ, феномена миграций и технологических инноваций на территории Приморья (Россия) и Эквадора (Южная Америка)», осуществляемого при финансовой поддержке Научного фонда Дальневосточного федерального университета. В раскопках, проходивших в тесной кооперации с эквадорским партнером — Приморским политехническим университетом (г.Гуаякиль), приняли участие сотрудники и студенты Дальневосточного федерального университета (г.Владивосток), Института археологии и этнографии СО РАН (г.Новосибирск), Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН (г.Владивосток), Института археологии РАН (г.Москва).

Культура вальдивия была открыта в 1956 г. на территории одноименного поселка эквадорским археологом Э.Эстрадой. Она известна своей керамикой, но больше всего — тайной происхождения\*. Эстрада и ряд других ученых предположили, что корни этой культуры находятся в Японии, поскольку найденная там керамика была похожа на изготовляемую в Стране восходящего солнца в период Дзёмон (около 11 тыс. лет до н.э. — 300 г. до н.э.). Так родилась гипотеза о трансокеанском контакте

\* *Табарев А.В.* Как начиналась легенда (культура вальдивия и дискуссия о возможности трансокеанских контактов в Пасифике) // Тихоокеанская археология. 2012. Вып.23. С.94—133.

«дзёмон—вальдивия». Однако большинство специалистов скептически отнеслись к этой версии, считая, что технология производства керамики зародилась в Эквадоре без внешнего влияния, а ранние сосуды имитируют плетеные или кожаные контейнеры и емкости из тыквы. В пользу этой точки зрения говорили результаты раскопок эквадорского археолога Х.Г.Маркоса, в 1971 г. открывшего на п-ове Санта-Элена новый памятник — Реаль-Альто площадью около 20 га, где представлены все восемь этапов древней культуры, следы жилищных и ритуальных конструкций, погребальные комплексы. Обнаруженные там глиняные фигурки и сосуды мало походили на керамику дзёмон. Масла в огонь дискуссии подлили и генетики, которые в 2013 г. сообщили об обнаруженном ими в Эквадоре кластере, где проживали индейцы с Y-хромосомой гаплогруппы С [С-M217 (С3\*)]\*\*. Такая встречается в Центральной, Восточной и Северо-Восточной Азии, в то время как в Америке (за исключением Аляски) она практически отсутствует. Таким образом, Реаль-Альто, на территории которого сегодня функционирует музейный комплекс и построены корпуса для лабораторных работ, хранения материалов и проживания специалистов, стал перспективным для археологов объектом, способным пролить свет на малоизученную культуру вальдивия и вопросы заселения Южной Америки. Последним и была посвящена экспедиция 2014—2015 гг.\*\*\*

\*\* *Roewer L., Notnagel M., Gusmao L. et al.* Continent-wide decoupling of Y-chromosomal genetic variation from language and geography in native South Americans // PLoS Genet. 2013. Doi:10.1371/journal.pgen.1003460

\*\*\* *Табарев А.В., Маркос Х.Г., Попов А.Н.* Совсем не «печальные» тропики: Российская археологическая экспедиция в Эквадоре // Наука из первых рук. 2015. №5—6. С.156—171.



Мужское погребение, найденное на Реаль-Альто в 2015 г.



Фрагмент древнейшей на сегодняшний день керамики на памятнике Реаль-Альто.

Фото А.В.Табарева

Главной ее изюминкой стали два обнаруженных погребения, которые могут относиться ко времени перехода от бескерамической культуры к керамической. И, что интересно, они были различны по обряду захоронения. Одно первичное: человека поместили в захоронение полностью, однако в очень странной позе, как будто он сидел, а затем упал на спину. Местные археологи пытались объяснить это тем, что тело, возможно, связали и зарыли, а когда веревки в земле истлели, тело «развалилось». У российских ученых иное мнение: положение тела намеренное — уж очень аккуратно в условиях плотных грунтов выполнено захоронение. У погребенного неплохо сохранились зубы. По их состоянию можно сказать, что мужчине (?) было лет 30—40 — критичный возраст для того времени.

Второе погребение вторичное: тело умершего какое-то время экспонировалось на открытом воздухе, а затем очистившиеся от плоти кости были собраны и выложены в могилу. При этом у погребенного отсутствуют позвоночник, часть ребер и рука. Любопытно, что археологи нашли ярко-рыжий кусочек охры, которой были выкрашены перед захоронением берцовые кости умершего.

Зубы и фаланги пальцев обоих скелетов сейчас находятся в Японии, в Университете Тохоку. Исследователи надеются получить генетический материал — первый для культуры вальдивия. Генетический анализ может показать, откуда произошли предки здешних людей: из Юго-Восточной Азии, Сибири или с островов Японского архипелага. Кроме того, датировка останков, а также изучение митохондриальной ДНК прояснят генетическую

близость обоих погребенных. Свое слово скажут и антропологи, способные определить патологии, возрастные и половые признаки останков.

Результаты эквадорской экспедиции превзошли ожидания. Археологи нашли и стратиграфически зафиксировали переход от бескерамической к керамической культуре. Ему соответствует плотный слой раковин, до которого специалисты добрались еще в 2014 г. Сейчас ученые ждут итогов радиоуглеродного анализа, чтобы понять точную дату этого перехода. Кроме того, были выявлены следы от жилищных конструкций, характерные для раннего периода культуры вальдивия. Судя по выемкам в грунте, дома неоднократно перестраивали, переносили сваи. Как говорят эквадорские специалисты, термиты съедают тридцатисантиметровое бревно примерно за 15 лет. Видимо, через этот промежуток времени столбы приходилось подновлять. Впервые для российско-эквадорского раскопа удалось обнаружить комплекс с тёрочниками — каменными орудиями, которые использовались для растирания или толчения различных материалов. Причем на древнем аналоге бытовой техники ранние земледельцы не только перетирали маис — здесь же измельчали до порошкообразного состояния пигменты и раковины, затачивали кости. Наконец, археологи нашли на Реаль-Альто раннюю довальдийскую (или, как вариант, невальдивийскую) керамику, которая технологически выглядит гораздо проще, чем последующая, принадлежащая культуре вальдивия, — это поможет восстановить начальный этап производства глиняной посуды.

В 2016 г. ученые намерены заняться поиском других погребений, но не только. На среднем и позднем этапах культуры вальдивия люди начали воздвигать монументальные земляные платформы (насыпи) размером 10 × 15 м и высотой до 1 м, поверх которых потом настраивали жилые и ритуальные помещения. Одна из таких платформ была обнаружена методом георадарного сканирования недалеко от исследуемого совместной экспедицией участка. Дальнейшая работа на Реаль-Альто позволит проследить эволюцию этого поселения от небольшой стоянки с несколькими легкими жилищными конструкциями до крупного церемониального центра с площадкой для ритуалов, насыпными платформами и захоронениями племенной элиты.

© Табарев А.В.,

доктор исторических наук

Институт археологии и этнографии СО РАН

Новосибирск

Попов А.Н.,

кандидат исторических наук

Дальневосточный федеральный университет

Владивосток,

профессор Маркос Х.Г.

Приморский политехнический университет

Гуаякиль (Эквадор)

# Древние существа Земли и среда их обитания

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе Москва

Рецензируемое научно-художественное издание посвящено истории развития Земли и демонстрирует глобальную эволюцию экосистем, жизнь ископаемых организмов в среде их обитания. При подготовке альбома его создатели — палеонтологи и художники — следовали высоким традициям изображения естественной гармонии и красоты природы прошлого, которые заложили много десятилетий назад профессор Пражского университета Йозеф Аугуста и живописец Зденек Буриан.

В небольшой текстовой части книги содержатся данные об основных этапах развития нашей планеты с момента формирования твердой земной коры до появления современного человека. Рассмотрены гипотезы, объясняющие возникновение жизни: концепция химической эволюции, согласно которой пребиотические вещества образовались из неорганических молекул в результате внешних энергетических воздействий и процессов самоорганизации, а также гипотеза панспермии — космического занесения жизни на Землю.

Биологическая эволюция сопровождается изменением генетического состава популяций, формированием адаптаций, возникновением и вымиранием видов, но она также неразрывно и органично связана и с преобразованиями положения и очертаний континентов, с изменением уровня Мирового океана и циркуляции его вод, с тектони-

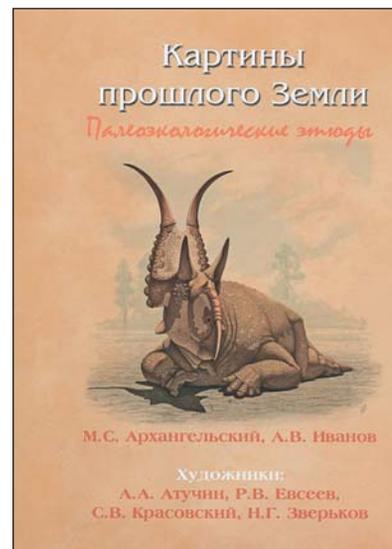
ческими процессами и вулканизмом, с масштабными климатическими перестройками. В книге проанализировано влияние на эволюцию биосферы и космических факторов.

Большая часть альбома представлена 158 картинами прошлого с сопроводительным текстом. На них изображены главным образом представители позвоночных. Иллюстрации отражают геологические эпохи, сменяющие друг друга согласно геохронологической шкале.

Событийный ряд рисунков, объединенных единством замысла, выстроен очень умело и образует громадное полотно, которое во всей полноте охватывает жизнь на Земле с древнейших времен и осмысливает ее, учитывая самые современные достижения различных областей знания.

Иллюстрации и сопроводительный текст к ним подробнейшим образом показывают биоразнообразие, внешний облик и размеры древних существ, передают удивительные оттенки их поведения, пищевую стратегию, тончайшие нюансы экологических адаптаций, особенности географического распространения и закономерности морфогенеза.

Картины производят на читателя ошеломляющее впечатление и поражают воображение своей достоверностью, чертами действительности. Благодаря мастерству художников-палеоанималистов образы древних существ обретают объемность и оживают. Некоторые иллюстрации невозможно отличить от



**М.С.Архангельский, А.В.Иванов.** КАРТИНЫ ПРОШЛОГО ЗЕМЛИ. ПАЛЕО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ. Художники: А.А.Атучин, Р.В.Евсеев, С.В.Красовский, И.Г.Зверьков.

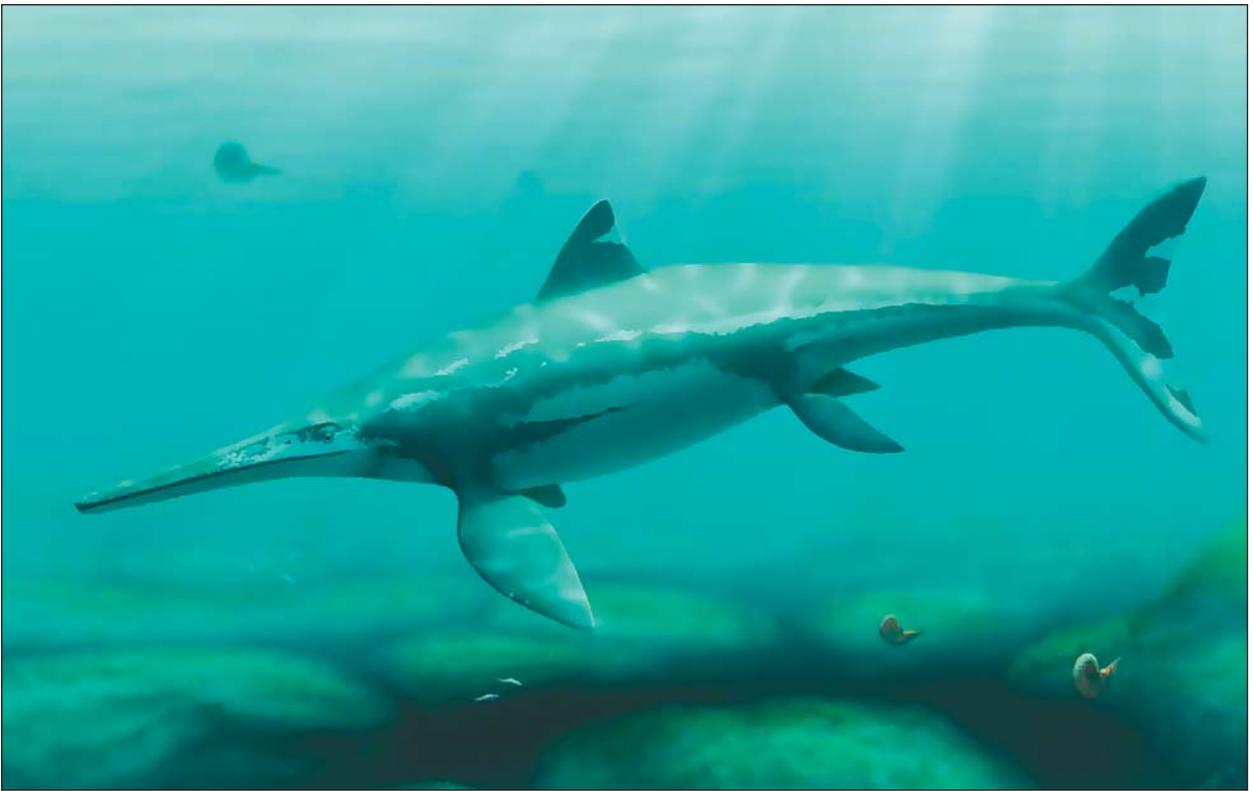
М.: Университетская книга, 2015. 188 с.



Раннемеловой птерозавр *Caupedactylus ybaka*. Художник С.В.Красовский.



Тираннозаврид *Lythoanax argestes*. Художник А.А.Атучин.



Шестиметровый ихтиозавр *Pervushovisaurus bannovkensis*. Художник А.А.Атучин.



Рогатый динозавр *Medusaceratops lokii*. Художник А.А.Атучин.

фотографий, полученных с помощью высококлассной цифровой аппаратуры.

С волнением и трепетом листая страницы альбома, мы совершаем увлекательное путешествие, оказываясь на берегу озера, в морских глубинах, в непроходимых болотах, в краях лесов и долин, в кронах высоких деревьев. Читатель становится невольным участником всего происходящего — столь велика сила производимого книгой впечатления. Мы слышим раскаты грома и шум дождя, шелест листвы и шорохи крадущихся животных, вдыхаем запах трав, следим за тем, как светлые летние дни сменяются сумраком зимних вечеров. В этом своеобразном круговороте природы — закономер-

ность движения жизни, неотвратимая череда эволюционных надежд и разочарований, драматизм судеб обитателей Земли.

Цель рецензируемой книги, к идее создания которой авторы шли много лет, — стремление продемонстрировать величие и величие картин геологического прошлого Земли и жизни на ней. Используя самые емкие и понятные реконструкции прошлого (картины созданы совместно учеными и художниками), авторы блестяще справились с этой задачей. Переворачивая последнюю страницу книги, испытываешь чувство сожаления, что удивительное странствие в прошлое Земли закончилось.

Рецензируемый альбом завораживает своей эстетикой, син-

тезом строгих научных данных и искусства, глубиной содержания, большой художественной убедительностью, изяществом стиля и точностью характеристик. Книга создана самозабвенным творческим трудом и служит прекрасным свидетельством силы и зрелости таланта авторов. Подготовить это уникальное произведение помогли высочайший профессионализм, обширные знания, безупречное чувство целого и, бесспорно, уважение к своему делу.

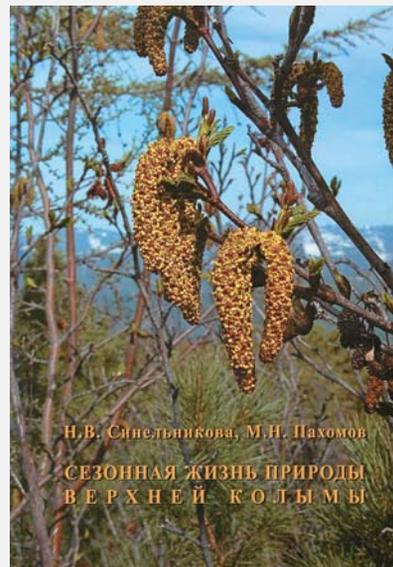
Альбомом, вне всякого сомнения, будут засматриваться и зачитываться новые и новые поколения читателей, интересующихся историей Земли, эволюцией экосистем, глобальной экологией. ■

### Биология. Фенология

**Н.В.Синельникова, М.В.Пахомова.** СЕЗОННАЯ ЖИЗНЬ ПРИРОДЫ ВЕРХНЕЙ КОЛЫМЫ.

М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 329 с.

В Магаданской обл. и на Чукотке крайне мало внимания уделяется рациональному использованию возобновляемых биоресурсов. Бесконтрольная эксплуатация минеральных богатств региона частными корпорациями вне учета потребностей населения и требований экологической безопасности угрожает не только состоянию экосистем, но и здоровью и благополучию людей. Особенности экосистем региона — малая устойчивость к антропогенному воздействию и низкая способность к самовоспроизведению — связаны с невысокой продуктивностью почвенно-растительного покрова и спецификой биологического круговорота. Острые экологические проблемы предопределяют необходимость предварительных исследований по оценке воздействия техногенных нарушений и планового экологического мониторинга во время и после освоения месторождений. Многосторонняя характеристика территории как географической среды не может быть полной без знаний о сезонном развитии природы, а фенологический мониторинг позволяет проследить сезонную динамику экосистем. В книге проанализированы особенности сезонного развития природы в верховьях Колымы. Впервые приведены средние многолетние данные о наступлении сезонных гидрометеорологических, фито- и зоофенологических изменений. Вместе с проведенной периодизацией сезонов и подсезонов в лесном и горно-тундровом поясах проанализированы фенологические аномалии. Рассмотрено влияние метеорологических показателей вегетационного периода на даты наступления фенологических фаз важнейших лесообразующих, плодовых и лекарственных растений. Выявлены тренды изменения сроков наступления сезонных изменений и корреляционные связи между ними.



Н.В. Синельникова, М.В. Пахомова  
СЕЗОННАЯ ЖИЗНЬ ПРИРОДЫ  
ВЕРХНЕЙ КОЛЫМЫ

## Биоорганическая химия

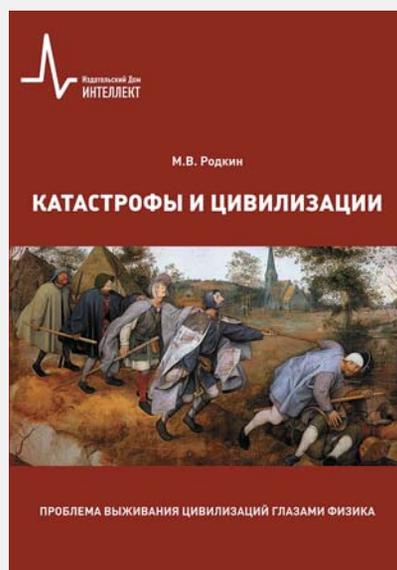
**И.В.Михура, А.А.Формановский, Е.В.Гришин.** ХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АРГИОПИНА. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015. 72 с.

Яды пауков — сложные многокомпонентные смеси биологически активных веществ, обуславливающие их способность либо парализовать, либо убивать жертву. Нарушение нервно-мышечной передачи у членистоногих происходит посредством блокады глутаматергических синапсов. В 1986 г. из яда американского паука аргиопы дольчатой был выделен его основной компонент — низкомолекулярный токсин аргиопин, структура которого была установлена российскими исследователями с использованием всех доступных физико-химических методов. Аргиопин — первый представитель обширного класса ацилполиаминовых токсинов: установлено строение уже более сотни полиаминовых токсинов из ядов десятков видов пауков. Они используются для разработки новых лекарств (для лечения нейродегенеративных заболеваний, таких как инсульт и болезнь Альцгеймера) и пестицидов. В книге рассмотрены различные схемы синтеза молекулы аргиопина и использования по-разному расположенных ортогональных защитных групп, методы построения промежуточного полиаминового производного и, соответственно, различные способы удаления защитных групп и очистки промежуточных и конечных соединений. Представлен разработанный авторами препаративный синтез аргиопина, основанный на блочном методе сборки молекулы.



## Экология. Геофизика. История

**М.В.Родкин.** КАТАСТРОФЫ И ЦИВИЛИЗАЦИИ. ПРОБЛЕМЫ ВЫЖИВАНИЯ ЦИВИЛИЗАЦИЙ ГЛАЗАМИ ФИЗИКА. Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2016. 232 с.

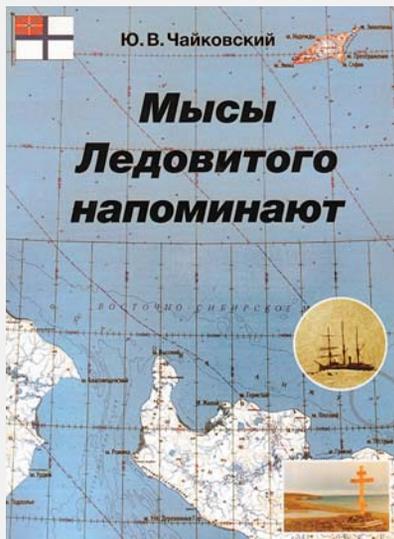


Автор — известный специалист по геофизике, сейсмологии и природным катастрофам, показал реальные масштабы и тенденции изменений как природных катастроф и наносимого ими ущерб, так и кризисов в истории человечества. Основной ущерб связан с единичными наиболее сильными катастрофами: они случаются на фоне длительного благополучного состояния, приносят неописанный огромный ущерб, надолго остаются в памяти. В книге описаны особенности кризисов древней истории (в Японии, в Китае, в государствах Средиземноморья и доколумбовой Америки) и эпохи научно-технической революции и глобализации. Экологические кризисы были весьма типичны для обеих эпох, зачастую именно в них крылись глубинные причины распада и гибели цивилизаций. Показано, что нормированные величины ущерба от природных катастроф имеют тенденцию уменьшаться с развитием социотехносферы (в развитых странах потери составляют 0.1—0.2 ВВП, а в развивающихся — 0.7—0.8 и более). Кризис в современном мире может оказаться не региональным, как ранее, а глобальным. Исследование концепции гарантированного взаимного уничтожения дано в форме фантастического рассказа «Ответный удар».

Данной книгой издательство открывает новую серию «Футурология с точки зрения физики», в которой действующие физики и естествоиспытатели смогут изложить свои взгляды на узловые проблемы дальнейшего выживания, развития или гибели человечества.

## География. История

**Ю.В.Чайковский.** МЫСЫ ЛЕДОВИТОГО НАПОМИНАЮТ. Исторические очерки и повесть. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 399 с.



Рассмотрены давние проблемы истории освоения Российской Арктики, которые затрагиваются учеными и писателями либо редко и поверхностно, либо не затрагиваются вообще. Вот некоторые из них: почему на картах времен Колумба довольно верно изображен арктический берег Евразии? Как люди на судне попали на самый дальний край Таймыра 400 лет назад? Кто задумал, финансировал, собрал и целых 10 лет направлял Великую северную экспедицию, в отрядах которой было несколько тысяч человек, и почему никто из ее участников не получил наград? В пяти очерках рассказывается об истории поисков Северо-Восточного прохода, открытия п-ова Таймыр, о.Северная Земля и мыса Дежнева. Повесть-исследование «Мыс Преображения» посвящена А.В.Колчаку. Автор уделяет внимание не пройденным экспедициями расстояниям, достигнутому широтам и освоенным пространствам, а живым людям с их помыслами, страстями, слабостями, порой и преступлениями. Завершают книгу приложения с документами, картами и другими материалами, а также свидетельства влияния малого ледникового периода на успехи в освоении Арктики.

## Геология. Экология

**М.С.Бараш.** ПРИЧИНЫ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ МАССОВЫХ ВЫМИРАНИЙ В ФАНОРОЗОЕ: УСЛОВИЯ СРЕДЫ ВО ВРЕМЯ КАТАСТРОФ. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015. 143 с.

Развитие жизни на Земле и увеличение биоразнообразия на протяжении фанерозоя не были равномерными и прерывались многочисленными спадами и вымираниями. Самые катастрофические сокращения разнообразия относят к «великим массовым вымираниям». В книге исследованы изменения природной среды во время пяти таких вымираний: ордовикского (происшедшего на рубеже ордовика и силура), девонского (в конце девона и на границе с карбоном), пермского (на рубеже перми и триаса), триасового (на границе триаса и юры) и мелового (на рубеже мела и палеогена). Проведенный анализ мировой литературы показывает, что тектонические события трудно увязываются с кратковременными массовыми вымираниями, которые приходятся как на эпохи разобщения, так и консолидации континентальных масс. Кризисы происходили и при совершенно разных климатических условиях (при глобальном похолодании во время ордовикского, при глобальном потеплении во время пермского и триасового и в условиях мелкомасштабных колебаний при средних значениях температур во время двух остальных). Не выявлена связь с колебаниями уровня океана: пермское приходится на регрессию, ордовикское — на локальную регрессию во время глобальной трансгрессии, а остальные — на локальные трансгрессии и регрессии при переходных значениях уровня Мирового океана. Три вымирания сопровождаются развитием кислых вулканитов, тогда как девонское и триасовое — мощным развитием базальтового вулканизма в океанах. Импакт-события приурочены к моментам вымираний, но встречаются в геологической летописи гораздо шире.



Михаил Семенович Бараш  
**Причины катастрофических массовых вымираний в фанерозое**  
 Условия среды во время катастроф

LAP LAMBERT  
 Academic Publishing

## Биология

**Ананьева Н.Б., Доронин И.В.** ИЛЬЯ СЕРГЕЕВИЧ ДАРЕВСКИЙ: ПОРТРЕТ ГЕРПЕТОЛОГА. ФОТОАЛЬБОМ. СПб.: Зоологический институт РАН, 2015. 103 с.

В декабре 2014 г. герпетологическое сообщество России отметило 90-летие выдающегося зоолога, эволюциониста и биогеографа, члена-корреспондента Академии наук СССР (Российской академии наук), профессора Ильи Сергеевича Даревского (1924–2009).

Выпускник Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Илья Сергеевич с 1962 г. до последних дней своей долгой и насыщенной событиями жизни был связан с Зоологическим институтом Академии наук СССР (Российской академии наук). Мировую известность ему принесло открытие естественного партеногенеза у наземных позвоночных и исследования биоразнообразия амфибий и рептилий Кавказа и других регионов Евразии. Его именем названы многие виды животных, а скальные ящерицы, изучением которых Илья Сергеевич занимался всю жизнь, были выделены в самостоятельный род, названный в его честь *Darevskia*. Он всегда был доброжелателен и общался «на равных» с молодыми специалистами и со студентами, никогда не отказывал в поддержке коллегам, всемерно осуществлял широкие международные связи. К его ученикам с гордостью относит себя старшее поколение герпетологов не только России, но и стран СНГ, Монголии и Вьетнама.

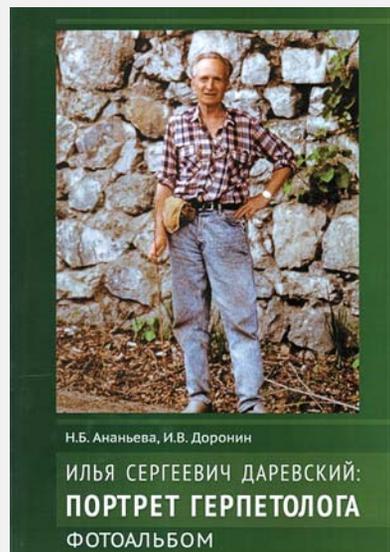
К знаменательной дате была выпущена серия публикаций, в том числе «Илья Сергеевич Даревский: 90 лет со дня рождения» на страницах журнала «Труды Зоологического института РАН». Формат журнальной статьи не позволил опубликовать в полном объеме подобранный фотоматериал. Теперь этот пробел восполнен. Текст фотоальбома основан на сведениях, почерпнутых из архивного личного дела №743 (архив ЗИН РАН), а также на личных воспоминаниях Н.Б.Ананьевой, проработавшей с Даревским более 40 лет (1968–2009).

Издание не претендует на исчерпывающее описание жизненного и научного пути Даревского (по образцу ЖЗЛ). Цель альбома — проиллюстрировать этот путь, осветив тем самым и «золотой век» отечественной герпетологии. Альбом содержит фотографии из архивов членов семьи, учеников и коллег ученого, копии документов, карты маршрутов экспедиций и т.п., всего 130 черно-белых и цветных иллюстраций.

В книге четыре главы, одна из которых посвящена международной деятельности Ильи Сергеевича. Это связано с его особой ролью в интеграции советской герпетологии в бурно развивающуюся международную зоологическую науку.

В приложении приводится список ученых, защитивших кандидатские и докторские диссертации под официальным руководством Ильи Сергеевича; основные публикации о нем и перечень таксонов животных, названных в его честь.

Альбом привлечет широкий круг читателей, которые интересуются зоологией, герпетологией и историей науки.



С.В.Наугольных,  
доктор геолого-минералогических наук  
Геологический институт РАН  
Москва

Неповторимое, ни с чем не сравнимое очарование законченностью и совершенством форм различных современных и ископаемых организмов постоянно привлекает к себе людей науки и искусства. Иной раз, листая палеонтологическую работу, удивляешься тому, как мастерски автор изложил материал, добавив к нему свое видение объекта исследования, и, как конечный результат, создал реконструкцию древнего животного или растения.

Совсем недавно мы отмечали 180-летний юбилей со дня рождения выдающегося немецкого натуралиста Эрнста Геккеля (1834—1919). Фигуры такой величины принадлежат не одному народу или стране, а всему человечеству. Наследие Геккеля, не только биолога-эволюциониста, но и, без преувеличений, философа, воистину огромно, и анализ этого наследия — тема для солидной диссертационной работы по истории науки. Сейчас хочется вспомнить лишь одну книгу из наследия Геккеля — альбом «Красота форм в живой природе» (*Kunstformen der Natur*), вышедший в свет с 1899 по 1904 г. в комплектах по 10 оттисков. Полная версия альбома из 100 оттисков вышла в 1904 г. Позже книга неоднократно переиздавалась\*.

Очень сложно определить жанр, в рамках которого была создана эта книга. Многие изображения животных и растений, помещенные в альбом, отличаются анатомической точностью. Они вполне могут использоваться (и используются!) в современных научных изданиях. Но при этом «Красота форм...» — это еще и превосходный художественный альбом, выполненный с безупречным вкусом и знанием дела. Среди животных и растений, изображенных Геккелем в его альбоме, немало и окаменелостей, а также реконструкций вымерших организмов. Красота и изысканная причудливость раковин аммонитов, панцирей трилобитов, морских ежей и криноидей (морских лилий) выделяет их среди других иллюстраций этой книги.

Именно этот альбом и подводит к теме статьи. Какую роль играют ископаемые организмы в эстетике современности? Где в палеонтологии лежит грань между наукой и искусством? Что такое палеоарт?

\* Геккель Э. Красота форм в природе. СПб., 2007.

## Концепции палеоарта

В учебниках по палеонтологии исторические обзоры часто начинаются с рассуждений, когда именно люди впервые обратили внимание на окаменелости, встречающиеся в земных слоях. Похоже, что ископаемые остатки растений и животных были с людьми всегда, и, так или иначе, сопровождали человечество с самых первых, начальных фаз антропогенеза. Вспомним палеолитические захоронения с ожерельями из раковин плиоценовых моллюсков или неолитическую керамику с узорами, которые сделаны штампами, изготовленными из раковин аммонитов. В Средневековье имели широкое распространение коллекции природных курьезов: «змеи святого Патрика» (аммониты) и каменные «птичьи языки» (зубы древних акул). В неменьшей степени люди с давних времен интересовались и ископаемыми растениями [1].

Окаменелости были и остаются не только предметом научных исследований, но и заметной составляющей человеческого быта, объектами художественного творчества и коллекционирования. Все это объединяется емким и многогранным понятием *палеоарт*\*\*.

В центре внимания людей, занимающихся палеоартом (или так или иначе с ним соприкасающихся), всегда находится какой-либо ископаемый организм, а иногда и целый палеобиоценоз.

Общей методологии и непосредственно самому процессу палеонтологической реконструкции посвящена не очень обширная, но содержательная популярная и специальная литература\*\*\* [2]. Создание образов древних животных и растений всегда интересовало как специалистов, так и любителей палеонтологии. Однако реконструкции

\*\* Палеоарт (палеоискусство, палеоанималистика) — вид искусства, изображение объектов, относящихся к палеонтологии: преимущественно вымерших существ и их ископаемых остатков. Термин впервые использован Марком Халлеттом (Mark Hallett) в конце 1980-х годов.

\*\*\* Мейен С.В. За кулисами доисторического ландшафта // Знание — сила. 1983. №7. С.23—26; Наугольных С.В. Реконструкции ископаемых растений // Многогранная геология. Вып. II: К 60-летию Клуба юных геологов им.В.А.Обручева. СПб., 2008. С.47—56; Васильева А. Отзвуки ушедших эпох // Наука в России. 2014. №6. С.100—108.

древних организмов вызывают не только общественный интерес, но и скепсис: откуда ученые все это знают и кто такое видел?

Объектом палеоарта может быть как отдельный организм, так и целое доисторическое сообщество или даже древний ландшафт. При этом нередко художнику-палеонтологу приходится работать в рамках осознанно или интуитивно выбранной парадигмы, которая накладывает на творчество ученого вполне определенные, а иногда и довольно жесткие ограничения.

Возьмем для примера серию реконструкций всем известных птицетазовых динозавров из группы цератопсов, а именно — вид протоцератопс Эндрыуса (*Protoceratops andrewsi*). Этот ящер был описан из верхнемеловых отложений Монголии. Протоцератопсы, известные по многочисленным хорошо сохранившимся целым скелетам, изучены с очень высокой степенью детальности. Именно эти динозавры демонстрируют тот редкий в палеонтологии случай, когда сразу же с момента своего открытия они дали в руки исследователей богатейший материал, представленный несколькими десятками, а теперь, пожалуй, уже и сотнями практически полностью сохранившихся скелетов. Все это позволило составить исключительно полное представление об онтогенезе этого вида, его половом диморфизме и внутривидовой изменчивости (история изучения вида подробно описана в [3]).

Такой богатый фактический материал, разумеется, не мог оставить равнодушными художников-анималистов. Одна из первых (если не первая) живописная реконструкция нескольких протоцератопсов, изображенных у кладки яиц в кюше невысоких хвойных деревьев, может быть названа настоящим шедевром палеоживописи. Принадлежит эта работа кисти знаменитого американского художника Ч.Найта. Эта реконструкция, использовавшаяся во многих научных и научно-популярных изданиях, в том числе и отечественных\*, легла в основу многочисленных изобразительных сюжетов с протоцератопсами в главной роли, а также послужила источником вдохновения для художников, поместивших этих динозавров на марки разных стран мира. Как легко убедится читатель, протоцератопсы на марках выступают в виде законченных, единообразно понимаемых, мономорфных образов, но их окраска и ландшафтное окружение варьируют в зависимости от субъективных суждений художника и от его эстетических предпочтений.

Создание художественных образов на палеонтологические сюжеты часто смыкается с вопро-



Набросок по монгольским впечатлениям. На заднем плане разрез Баин-Дзак — «Богатый саксаулом» (он же известен как «Пылающие скалы»). На переднем плане череп протоцератопса.

Здесь и далее рисунки автора

сами авторства, преемственности и традиций. Я вполне терпимо отношусь к воспроизведению классических сюжетов в реконструкциях древних организмов и ландшафтов с необходимыми ссылками на оригинал, но лишь в тех случаях,



Почтовые марки с изображением протоцератопсов.

\* Примеры использования реконструкций Ч.Найта в отечественной научно-популярной литературе см.: Яковлев А.А. Рассказы о Земле. М., 1959. С.94, рис.81; Орлов Ю.А. В мире древних животных: Очерки по палеонтологии позвоночных. М., 1989. Рис.ХХ.

когда в изображении есть какие-то авторские штрихи и, так сказать, доработка оригинала, а не слепое копирование. Всерьез раздражает лишь явная некомпетентность, непонимание смысла рисунка или живописной работы художником, бездумно срисовывающим непонятный ему объект. Совсем недавно в одном из крупных республиканских музеев, в целом очень даже представительном и уважаемом, на монументальной фреске, стоившей, очевидно, немалых денег, я с удивлением увидел изображение девонского ракоскорпиона, повернутого животом вверх и лежащего, соответственно, на спине. Это совершенно ясно из анатомических подробностей строения тела, добросовестно скопированных художником с исходного изображения. Однако, очевидно ощущая, что ракоскорпиону не хватает конечностей, автор фрески подрисовал ему дополнительные ноги, приделав их к спине, оказавшейся внизу. Таким образом, у «чудо-ракоскорпиона», которого так и хочется назвать монстром, ножки показаны и на животе, и на спине, совсем как у знаменитого восьминогого зайца, за которым гонялся барон Мюнхгаузен. Куда смотрели палеонтологи, эксперты, консультанты, помогавшие готовить экспозицию, совершенно неясно. Справедливости ради надо отметить, что другие разделы этого музея, в особенности зал, посвященный морским рептилиям мезозоя, сделаны на очень высоком уровне.

## Палеоарт на службе у музеев

Давайте ненадолго отвлечемся от художественных объектов палеоарта и перейдем в научно-практическую плоскость, тесно соприкасающуюся с музейными экспозициями и тематическими палеонтологическими выставками.

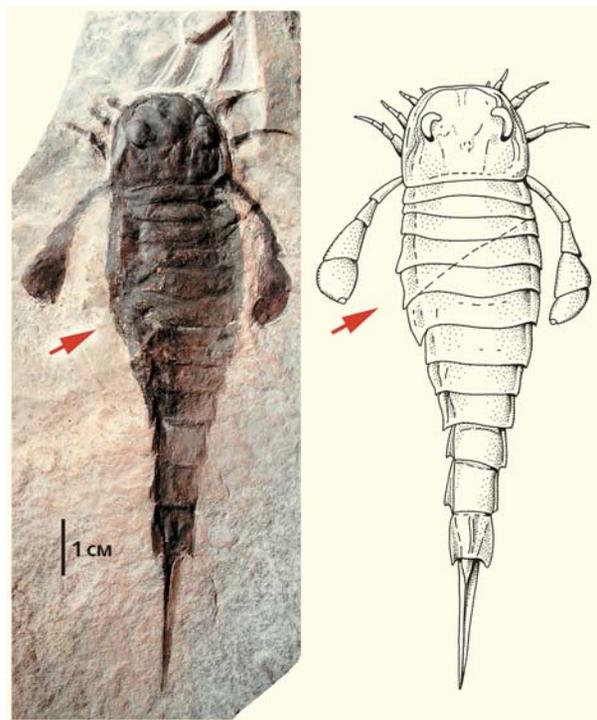
Первая и основная функция любого музея — сохранить для будущих поколений материальные (и не только!) памятники, касающиеся самых разных аспектов жизни человека и окружающего его мира. Но, пожалуй, не менее значима и вторая сторона деятельности музеев — экспозиционная. Музеи должны демонстрировать, выставлять наиболее значимые и интересные экспонаты из своих фондов, делать их доступными не только для специалистов, но и для широкой публики, взрослых и детей.

У крупных столичных музеев, как правило, проблем с эффектной экспонатурой нет. Обычно сложности возникают не с тем, что выставлять, а с тем, где выставлять. Нехватка выставочных площадей — дело в музейной практике совершенно обычное. Но даже и в больших музеях, обладающих богатыми фондовыми собраниями, при подготовке тематических выставок частенько необходимо замкнуть смысловой логический ряд выставки или постоянной экспозиции ка-

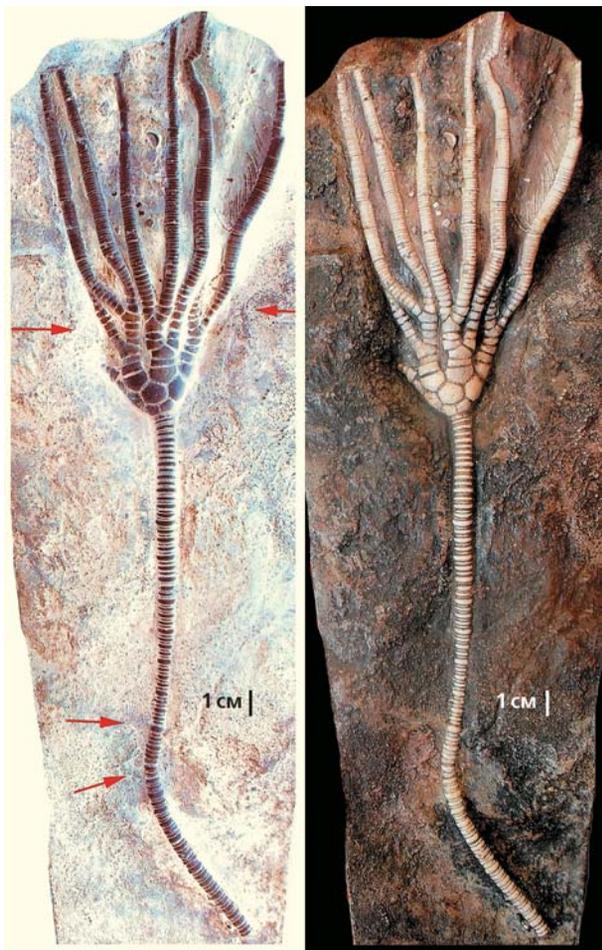
ким-то знаковым, завершающим мысль или отражающим определенную идею образцом. А такового в фондах музея может и не оказаться, либо он может быть представлен невыразительным фрагментом плохой сохранности. Относительно небольшие региональные музеи сталкиваются с этим очень часто.

И здесь на помощь музейщикам приходит палеоарт. Ни для кого не секрет, что многие скелеты крупных млекопитающих плейстоцена (мамонтов, шерстистых носорогов, пещерных медведей и бизонов), выставленные в наших музеях, часто собраны из отдельных костей различных индивидумов примерно одного возраста, подходящих друг другу по размеру. Некоторые недостающие части скелета могут быть изготовлены из гипса, дерева или пластика как зеркальные копии сохранившихся симметричных частей. Это своего рода научная реконструкция, призванная насытить предметный ряд экспозиции эффектными экспонатами, способными привлечь внимание посетителей и пробудить у них интерес к прошлому Земли. Грамотно составленный этикетаж с пояснениями, как именно была подготовлена эта реконструкция, сделает экспозицию предельно корректной и одновременно захватывающей, привлекающей внимание [4, 5].

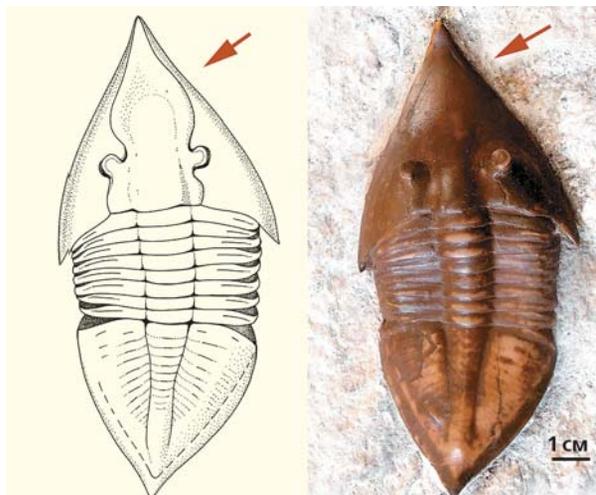
В последние годы методические приемы палеоарта при подготовке палеонтологических образ-



Ракоскорпион *Eurypterus fischeri* с панцирем, склеенным и реконструированным в технике палеоарта (место реконструкции отмечено на прорисовке стрелкой). Силур Подолья (Украина).



Морская лилия (криноидея) *Moscovicrinus multiplex*, склеенная и реконструированная в технике палеоарта (места склеек и реконструкции отмечены стрелками на инвертированном изображении слева). Верхний карбон Рязанской обл., правый берег р.Оки, Акишинский карьер.



Трилобит *Megistaspis triangularis*, место реконструкции панциря с помощью полимерных материалов в технике палеоарта отмечено стрелкой. Нижний ордовик Ленинградской обл. Внизу — трилобит мегистаспис и головоногий моллюск камероцерас.

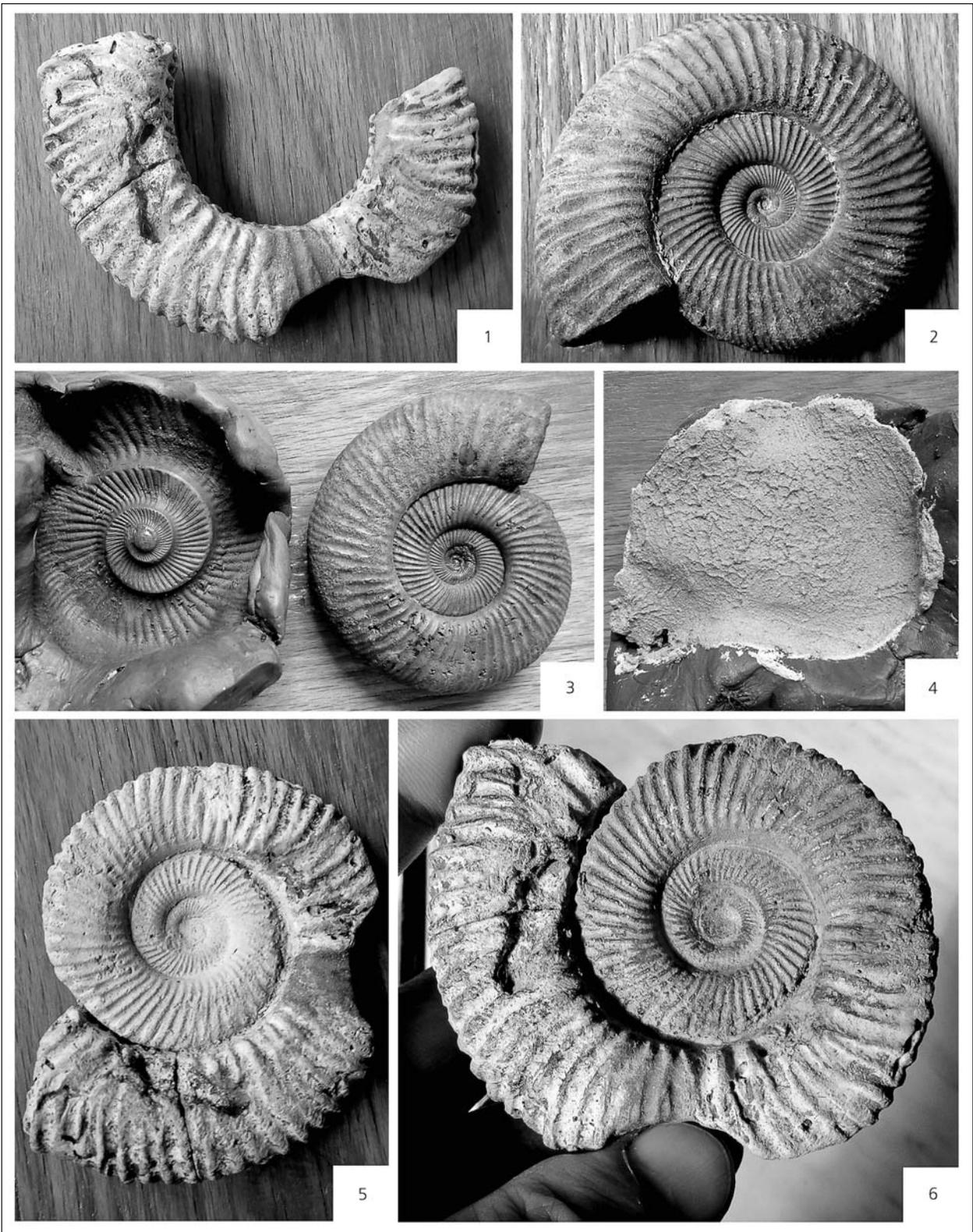
цов к экспонированию применяются не только к позвоночным, но и к беспозвоночным организмам [6]. Особенно важна такая реконструкция для редких, как правило, не встречающихся в идеально полном состоянии таксонов. Так, например, в прекрасном буклете «Вендские жители Земли»\*, выпущенном к выставке ископаемых многоклеточных вендского периода, изображен уникальный экземпляр перьевидного колониального организма *Charnia masoni*. Основание колонии реконструировано настолько искусно, что ни у кого из читателей не возникает сомнений: перед ними идеально сохранившийся целый организм. Другие примеры подобных реконструкций — трилобит *Megistaspis triangularis*, ракоскорпион *Eurypterus fischeri*, криноидея *Moscovicrinus multiplex* — показаны на иллюстрациях к статье.

\* Малаховская ЯЕ, Иванцов АЮ. Вендские жители Земли. Архангельск, 2002.

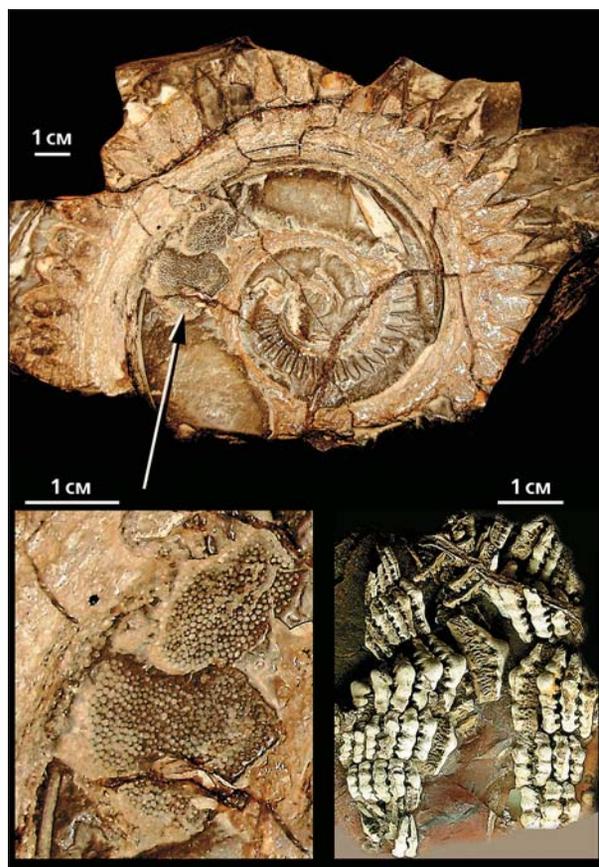
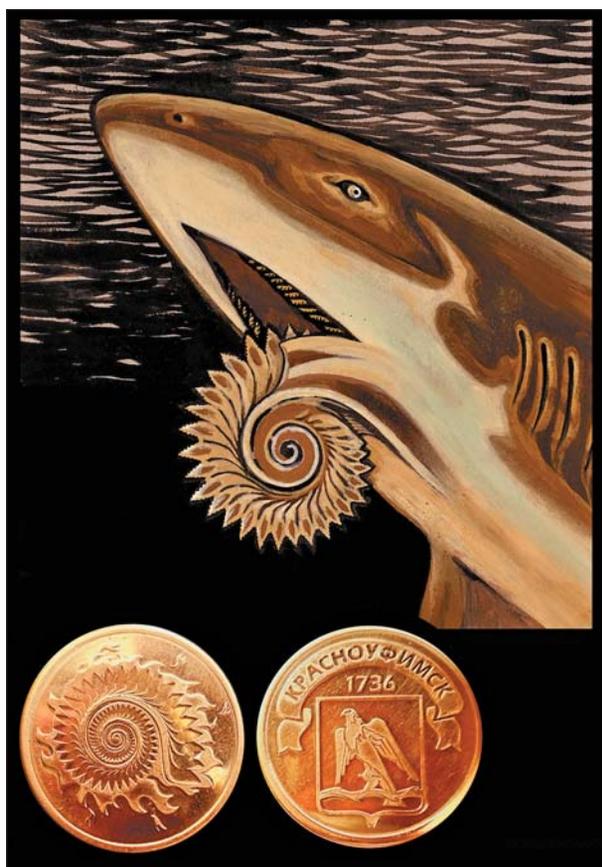
Среди музейщиков и коллекционеров есть и критически настроенные люди, считающие, что восстановление или реконструкция палеонтологических объектов должна быть полностью исключена. Понятно, что и такая точка зрения вполне имеет право на существование. Однако реальная музейная практика часто ставит перед экспозиционерами и галеристами такие задачи, которые можно решить только с помощью реконструирования недостающих частей ископаемых организмов и с привлечением других методик палеоарта.

Отдельного упоминания заслуживает применение палеоарта в оформлении музейных интерьеров. Прекрасные образцы использования палеонтологических объектов и образов ископаемых организмов приведены в книге Г.Крумбигеля и Х.Вальтера\*\*. У нас в стране не так много му-

\*\* Крумбигель Г, Вальтер Х. Ископаемые. Сбор, препарирование, определение, использование. Москва, 1980.



Восстановление недостающих частей на раковине аммонита *Perisphinctes* из верхней юры Московской обл. (г. Раменское): 1 — внутреннее ядро жилой камеры, внутренние обороты раковины не сохранились; 2 — близкородственный аммонит из группы перисфинктид с сохранившимися внутренними оборотами; 3 — изготовление формы для отливки недостающей части; 4 — заполнение формы художественным алебастром; 5 — воссоединение внутреннего ядра и внутренних оборотов; 6 — раковина аммонита с реконструкцией в технике палеоарта.



Коллаж (слева) с изображениями геликоприона и памятной медали, на оборотной стороне которой отчеканена зубная спираль этой рыбы, и фотографии образцов ископаемых остатков *Helicoprion* из нижнепермских отложений Приуралья: сверху — общий вид зубной спирали (из коллекции Пермского федерального научно-исследовательского университета), внизу слева — его увеличенный фрагмент (местоположение указано стрелкой), где видны частично сохранившиеся покровы с кожными зубчиками, справа — челюсть с дробящими зубами (из коллекции Палеонтологического музея им.Ю.А.Орлова).

зейных интерьеров с палеосюжетами, но пар тройку примеров вполне можно привести. В первую очередь это, конечно же, Палеонтологический музей им.Ю.А.Орлова, Государственный Дарвиновский музей и Государственный геологический музей им.В.И.Вернадского РАН в Москве. Из региональных музеев надо упомянуть Музей пермских древностей в г.Пермь с блестяще выполненными барельефами на палеонтологические темы и экспозицию в Краснокамском краеведческом музее с подиумом «Мамонт» и настенными фресками с сюжетами из жизни людей в палеолите. Оригинальность и изысканность оформления, вместе с тем совмещающая и строгую научность, и анатомическую точность изображенных ископаемых растений и животных, делают эти экспозиции хорошими примерами для других музеев.

Отдельно хотелось бы остановиться на том, как используются палеонтологические объекты для создания эстетических художественных образов в различных предметах коллекционирования — в марках, открытках, монетах, медалях,

значках и т.д., однако объем журнальной публикации позволяет затронуть лишь маленькую толику этой богатой темы. В качестве иллюстрации приведу недавно отчеканенную памятную коллекционную медаль, созданную в 2014 г. по заказу городской администрации г.Красноуфимска (Свердловская обл.). На лицевой стороне медали изображен герб Красноуфимска с легкоузнаваемым соколом, а на оборотной — зубная спираль геликоприона, удивительной вымершей хрящевой рыбы, отдаленно родственной современному акулам. Именно благодаря находкам зубных спиралей геликоприонов Красноуфимск прославился среди палеонтологов всего мира.

\* \* \*

Подводя итог, хочу затронуть еще один важный вопрос. В последние годы стало ясно, что для такой большой страны, как Россия, пожалуй, недостаточно нескольких столичных естественнонаучных музеев, какими бы прекрасными и всеобъемлющими они ни были. Сейчас во многих краевых, областных и районных центрах появля-

ются самодеятельные музеи, работающие на общественных началах, как правило, без какого-либо государственного финансирования. Такие музеи возникают и в краеведческих, и в туристических кружках, при юношеских лагерях и в центрах образования. К сожалению, часто эти музеи не имеют никакого определенного юридического

статуса. Конечно, нашей законодательной власти сейчас, возможно, и не до любительских публичных коллекций, но в перспективе этот вопрос надо будет каким-то образом ввести в правовое поле. А насытить их экспозиции достойными экспонатами поможет палеоарт во всех его разнообразных проявлениях. ■

## Литература

1. *Barthel M.* Pflanzenfossilien als Kulturgut. Zum 150 Todesjahr von E.F. von Schlotheim und J.W. von Goethe // *Neue Museums Kunde*. 1983. Bd.1. S.2—14.
2. *Мейен С.В., Смирин Ю.М., Смирин В.М. и др.* Реконструкции вымерших организмов // *Современная палеонтология*. Т.1: Методы, направления, проблемы, практическое приложение. М., 1988. С.159—197.
3. *Алифанов В.Р.* Отряд Ornithischia // *Ископаемые позвоночные России и сопредельных стран. Ископаемые рептилии и птицы*. Ч.2. М., 2012. С.241—309.
4. *Варенов Д.В., Носова Т.М.* Формирование экологической культуры посетителей музея средствами метода моделирования. Ч.1: Теория и основы моделирования в музее. Самара, 2007.
5. *Варенов Д.В., Варенова Т.В., Носова Т.М.* Формирование экологической культуры посетителей музея средствами метода моделирования. Ч.2: Методика моделирования природных объектов в музее. Самара, 2008.
6. *Шитов М.В., Снигиревский С.М., Телешев С.Н.* Paleoart и проблема сохранения геологического наследия России: коллизии и компромиссы // *Геологические памятники*. СПб., 2003. С.74—81.

# ПРИРОДА

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы  
**О.О.АСТАХОВА**

**М.Б.БУРЗИН**

**Т.С.КЛЮВИТКИНА**

**К.Л.СОРОКИНА**

**Н.В.УЛЬЯНОВА**

**М.Е.ХАЛИЗЕВА**

**О.И.ШУТОВА**

**А.О.ЯКИМЕНКО**

Литературный редактор  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Перевод:  
**С.В.ЧУДОВ**

Графика, верстка:  
**С.В.УСКОВ**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредитель:  
Президиум Российской академии наук

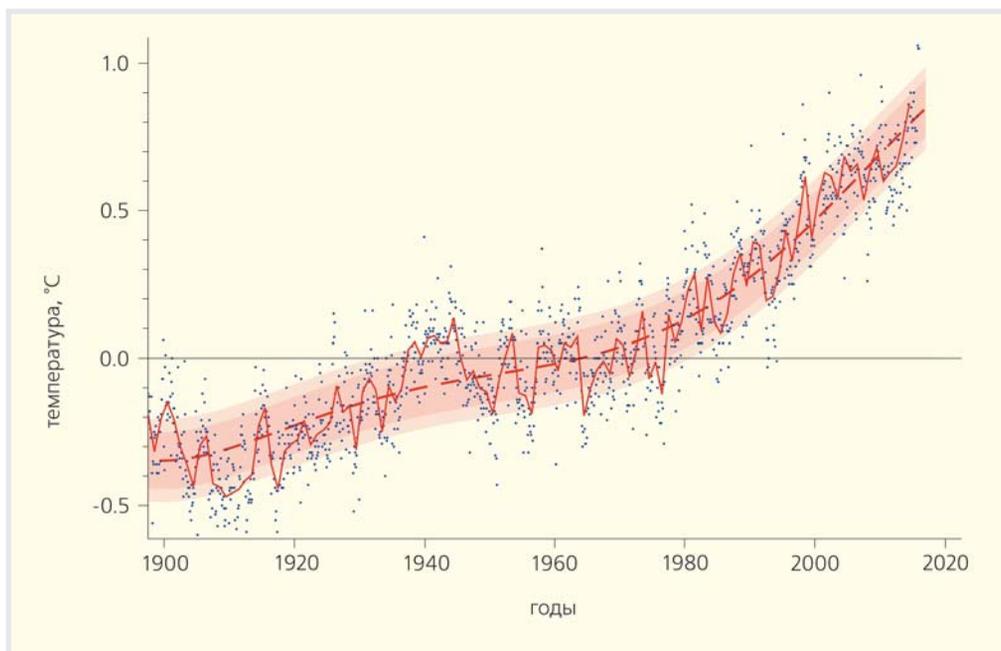
Издатель: ФГУП «Академиздатцентр «Наука»  
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

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

Подписано в печать 20.01.2016  
Формат 60×88 1/8  
Бумага офсетная. Офсетная печать  
Усл. печ. л. 11,16. Уч. изд. л. 12,2  
Тираж 366 экз.  
Заказ 973  
Цена свободная

Отпечатано ФГУП «Академиздатцентр «Наука»,  
(типография «Наука») 121099, Москва, Шубинский пер., 6

в следующем номере



В декабре прошлого года в Париже произошло событие, значение которого можно будет полностью оценить только к концу столетия: завершилась Международная конференция по климату. Научные выводы, доказавшие антропогенную роль в потеплении климата, привели к реальным политическим следствиям. В итоговом соглашении, одобренном всеми 185 странами-участниками, поставлена цель: ограничить потепление климата к концу века двумя градусами Цельсия. Выполнение этой задачи будет трудным, если вообще возможным.

За последние два десятилетия рост температуры превысил  $0.5^{\circ}\text{C}$  и заметно превзошел среднеквадратичный разброс месячных вариаций, равный  $0.14^{\circ}\text{C}$ . Возможно, именно этот факт положил конец сомнениям в реальности потепления.

Обязательства государств по сокращению к 2030 г. использования ископаемого топлива (угля, нефти, газа) позволяют прогнозировать атмосферную концентрацию  $\text{CO}_2$  к этому времени и строить стратегии более отдаленного будущего. Они, в свою очередь, позволяют рассчитать изменения глобальной температуры вплоть до 2150 г. При быстрой перестройке энергетики уровень  $+2^{\circ}\text{C}$  действительно оказывается достижимым. Но вероятность этого, к сожалению, невелика.

**Бялко А.В.** ДОСТИЖИМЫ ЛИ ЦЕЛИ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ ПО КЛИМАТУ?

