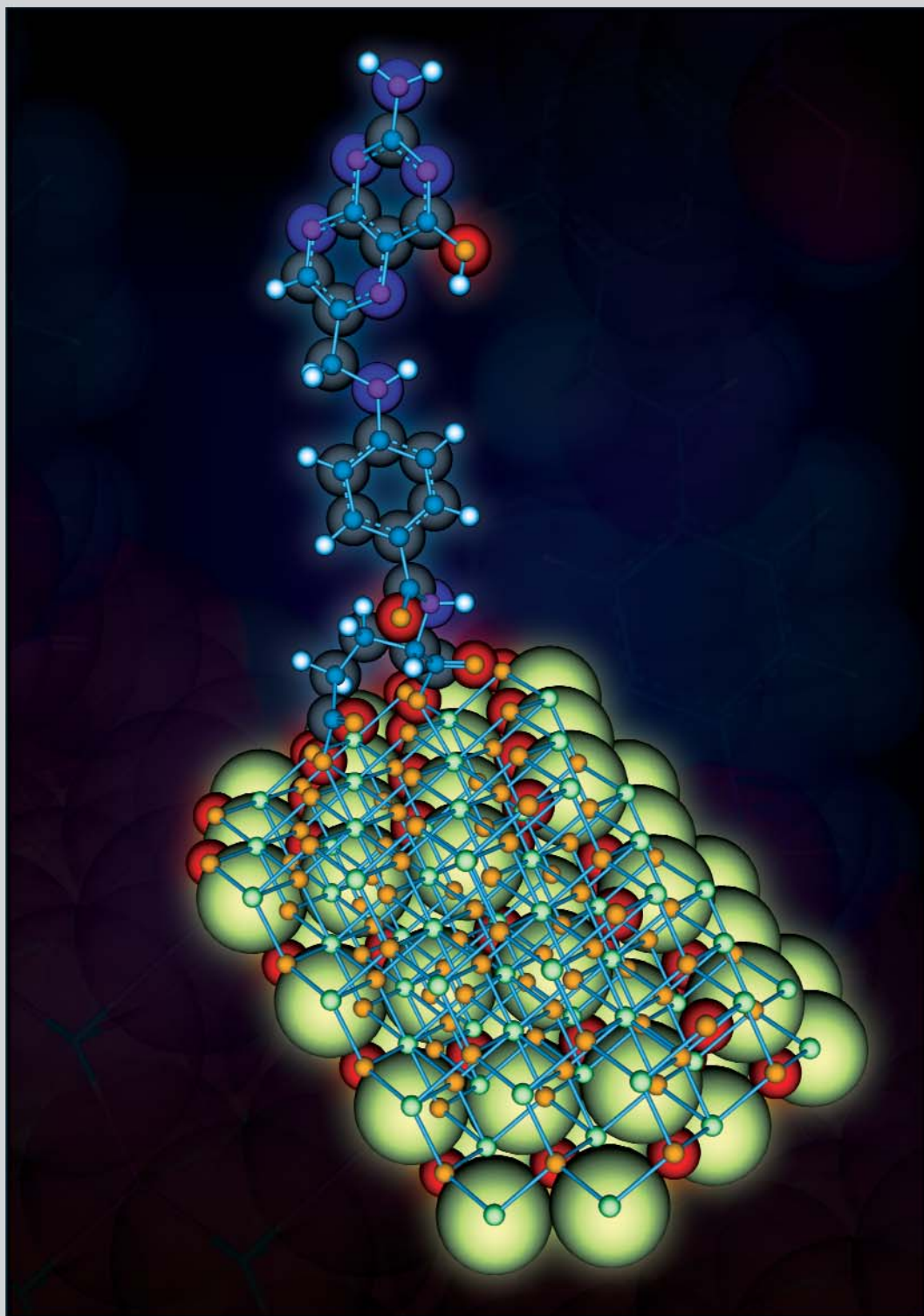


# ПРИРОДА

3 11



**В НОМЕРЕ:****3 ОТКРЫТИЕ, ИЗМЕНИВШЕЕ ХОД ИСТОРИИ**

Прошло сто лет с тех пор, как было открыто атомное ядро. Что в ядре заключена огромная энергия, тогда уже понимали, но многие, включая Резерфорда, не верили, что ее удастся когда-нибудь использовать. Хотя и через десятилетия, но эта эпоха наступила. Что значит ядерная энергия для человечества сегодня и имеет ли она будущее?

**Орлов В.В., Пономарев Л.И.**

**Ядерная энергия и человек (4)**

**Фредерик Содди  
об атомной энергии (17)**

**18 Беленицкая Г.А.**

**Мексиканский соляно-нефтяной реактор**

Крупнейшая нефтяная авария на платформе глубоководного бурения *Deepwater Horizon* приковала внимание всего мира к Мексиканскому заливу, сделал его на многие месяцы самым обсуждаемым регионом и центром всеобщей озабоченности.

**32 Баландина А.Н., Пантелеев М.А., Атауллаханов Ф.И.**

**Система свертывания крови и ее регуляция**

Независимо от заболевания непосредственной причиной смерти зачастую становятся сбои в работе системы свертывания крови. До недавнего времени эта система, управляемая сложным каскадом биохимических реакций, сопротивлялась изучению. Качественный скачок произошел, когда к экспериментальным подходам исследований подключилось математическое моделирование.

**39 Голубев А.Г.**

**Сага о ресвератроле**

Интерес к этому флавоноиду, которым так богато вино из красного винограда, фармацевтические фирмы стали проявлять в начале тысячелетия. Сегодня ресвератрол стал популярной биологической добавкой. Однако каков в действительности механизм действия этого вещества, до конца не выяснено.

**47 Иванов В.К., Щербаков А.Б., Жолобак Н.М., Иванова О.С.**

**Необычные свойства диоксида церия**

Кислород, без которого не обходится большинство организмов, дает много активных форм, способных вызывать нарушения в клетке. Значит, организм нуждается в защите от излишнего окисления. Для такой защиты перспективным представляется нанокристаллический диоксид церия.

**58 Абакумов Е.В., Крыленков В.А.**

**Почвы Антарктиды**

Систематическое изучение почв в районах российских антарктических станций началось совсем недавно. В ходе Российских антарктических экспедиций удалось не только описать различные виды почвенного покрова, но и исследовать условия его образования.

**63 Дробышеский С.В.**

**Маршрут длиной в ДНК**

**67 Дмитриев И.С.**

**Республика не нуждается в ученых  
Гибель Лавуазье**

**О чем писала «Природа»****74 Умов Н.А.**

**Роль человека в познаваемом  
им мире**

**82****Новости науки**

Необычная планетная система звезды HR 8799 (82). Тибетцы адаптированы к высокогорью на генетическом уровне (82). Плюющие кобры. Семенов Д.В. (83). Кожистая черепаха обычна в водах у Курильских островов? (83). По следам погибшей экспедиции Джона Франклина (84). Древнейшие поселения на Самбийском полуострове. Хохлов А.Н. (84).

**Рецензии****86 Сурдин В.Г.**

**Вселенная вселенных**  
(на кн.: А.Виленкин. Мир многих миров: физика в поисках параллельных вселенных)

**89****Новые книги****Встречи с забытым****91 Валькова О.А.**

**«Хочу служить людям своей наукой»**

## CONTENTS:

### 3 DISCOVERY THAT CHANGED COURSE OF HISTORY

*A hundred years passed since discovery of atomic nuclei. It was already understood this time that it contains a tremendous energy, but many, including Rutherford, did not believe that it ever could be used. But this epoch has arrived, although decades later. What does nuclear energy mean for mankind now and is there any future for it?*

**Orlov V.V., Ponomarev L.I.**

**Nuclear Energy and Mankind (4)**

**Frederick Soddy  
about Nuclear Energy (17)**

### 18 Belenitskaya G.A.

**Mexican Salt-oil Reactor**

*The largest oil disaster at drilling rig «Deepwater Horizon» absorbed attention of the whole world to Mexican Gulf, making it for many months the most debated region and the focus of everybody's anxiety.*

### 32 Balandina A.N., Panteleev M.A., Ataullakhanov F.I.

**Blood Coagulation System  
and its Regulation**

*Regardless of the disease, the proximate causes of death often are breakdowns of blood coagulation system. Until recently this system, governed by a complex cascade of biochemical reactions, defied study. The qualitative breakthrough occurred when experimental approaches to study it were supplemented with mathematical modeling.*

### 39 Golubev A.G.

**Resveratrole Saga**

*Pharmaceutical companies began to show interest in this phytoalexin, which is so abundant in wine made from red grapes, in the beginning of the current millennium. Now resveratrole became a popular biological addition to food. But it still is not entirely known how this substance actually works.*

### 47 Ivanov V.K., Shcherbakov A.B., Zholobak N.M., Ivanova O.S.

**Unusual Properties of Cerium Dioxide**

*Oxygen, which is vital for majority of organisms, produces many active forms, capable to harm living cells. This implies that organisms need some protection from excessive oxidation. Nanocrystalline cerium dioxide seems to be promising for this purpose.*

### 58 Abakumov E.V., Krylenkov V.A.

**Antarctic Soils**

*A systematic study of soils near Russian Antarctic stations began very recently. During expeditions researchers were able not only describe different types of topsoil, but to study conditions of their formation.*

### 63 Drobyshevsky S.V.

**Route as Long as DNA**

### 67 Dmitriev I.S.

**Republic Does Not Need Scientists**

Death of Lavoisier

### What «Priroda» Wrote About

### 74 Professor Umov N.A.

**The Role of Humankind in the World  
It Cognizes**

### 82

### Science News

Unusual Planetary System of the Star HR 8799 (82). Tibetans Are Adapted to High Altitudes at a Genetic Level (82). Spitting Cobras. **Semenov D.V.** (83). Leather-backs Are Usual in Waters Near Kuriles? (83). Following in the Tracks of Perished Expedition of Sir John Franklin (84). Ancient Archeological Sites at Sambian Peninsula. **Khokhlov A.N.** (84).

### Book Reviews

### 86 Surdin V.G.

**Universe of universes**

(on book: A.Vilenkin World of Many Worlds: Physics in Search of Parallel Universes)

### 89

### New Books

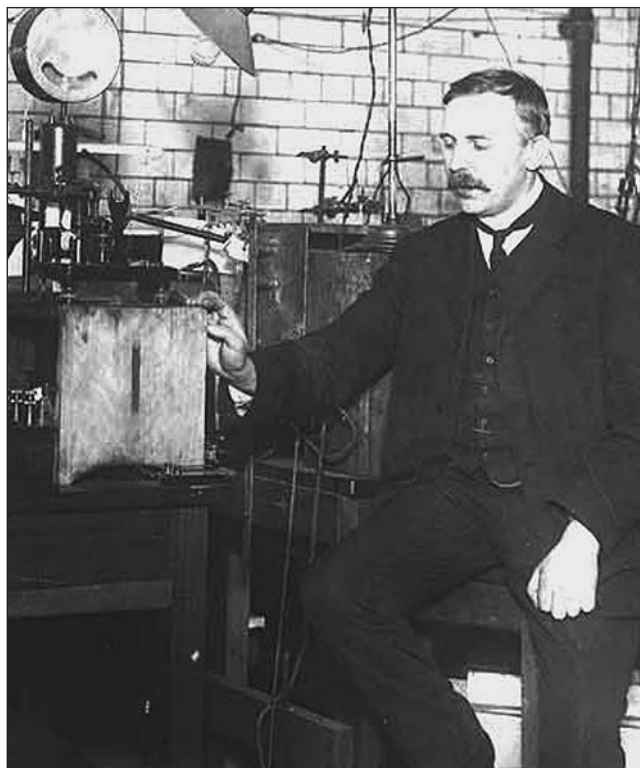
### Encounters With Forgotten

### 91 Valkova O.A.

**«I want to serve people with  
my science»**

---

# ОТКРЫТИЕ, ИЗМЕНИВШЕЕ ХОД ИСТОРИИ



Эрнест Резерфорд (1871—1937).

Сто лет назад, 7 марта 1911 г., на заседании Манчестерского философского общества Эрнест Резерфорд сделал доклад «Рассеяние  $\alpha$ - и  $\beta$ -лучей и строение атома». Он сообщил слушателям, что атом устроен подобно Солнечной системе — в центре его расположено ядро, размеры которого ( $\sim 10^{-13}$  см) в 100 тыс. раз меньше атома. Тогда уже понимали, что в ядре сокрыта огромная энергия, но только через тридцать лет ее сумели освободить.

Сам Резерфорд не дождал до этого дня и до конца жизни утверждал: «Каждый, кто ожидает получить энергию от трансмутации атомов, толкует о лунном свете». Эйнштейн был с ним солидарен: «Нет ни малейшего намека на то, что ядерная энергия станет когда-то доступной», — говорил он в 1932 г., всего за семь лет до открытия деления урана.

Так думали не все: Владимир Иванович Вернадский еще в 1910 г., за год до открытия ядра, внушал академическому собранию: «Теперь перед нами открываются в явлениях радиоактивности источники атомной энергии, в миллионы раз превышающие те источники сил, какие рисовались человеческому воображению». В 1922 г. он возвращается к этой мысли: «Мы подходим к великому перевороту в жизни человечества, с которым не могут сравниться все им ранее пережитые. Недалеко то время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет» [1]. А Фредерик Содди, открывший вместе с Резерфордом законы радиоактивного распада, со всей определенностью утверждал эти же мысли уже в 1904 г., объясняя в своих лекциях и книгах, что «искусственная трансмутация элементов навсегда освободит человечество от проблемы энергии».



# Ядерная энергия и человек

В.В.Орлов, Л.И.Пономарев

**П**роблема энергии в мире — ключевая, от ее решения во все времена зависела жизнь человека, и до сих пор добыча энергии занимает существенную часть производственных затрат общества (в России ~30% [2]). В древние века она сводилась к добыче пищи и тепла; приручение огня стало решающей ступенью на пути развития человечества. Ежедневная потребность человека в пище эквивалентна энергии ~2.5 тыс. килокалорий (~10<sup>7</sup> Дж) [3]\*, а мощность его жизнедеятельности равна примерно 120 Вт, т.е. сравнима с мощностью яркой электролампочки или горящей спички. Приручение домашних животных и использование энергии ветра и рек увеличило эту мощность в несколько раз, и к началу промышленной революции потребление энергии возросло до ~500 Вт. Затем человек изобрел тепловые машины (1784), пароход (1807) и паровоз (1825), к концу XIX в. — электрические машины, а в середине XX в. освободил энергию ядра.

По значимости для будущего человечества овладение ядерной энергией можно сравнить только с приручением огня его дикими прародителями. Переход от химической энергии горения углерода к энергии деления ядра урана и энергии синтеза ядер изотопов водорода начался совсем недавно, еще живы немногие свидетели этих судьбоносных событий. Но, может быть, имен-

\* Различные единицы энергии связаны соотношениями: 1 Дж = 0.239 кал = = 0.102 кгм = 10<sup>7</sup> эрг = 0.625 · 10<sup>15</sup> эВ.

© Орлов В.В., Пономарев Л.И., 2011



**Виктор Владимирович Орлов**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник РНЦ «Курчатовский институт», научный руководитель разработки реактора БРЕСТ (Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники). Область научных интересов — физика и техника реакторов, ядерная энергетика. Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, заслуженный деятель науки РФ.



**Леонид Иванович Пономарев**, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, начальник лаборатории теоретических исследований РНЦ «Курчатовский институт». Специалист в области атомной, мезоатомной и ядерной физики. Лауреат премии РАН им.И.В.Курчатова.

но поэтому человеческое сообщество до сих пор не осознало вполне их значение. Более того, величие этой победы породило иллюзию, будто задача уже полностью решена: она перестала быть научной проблемой и превратилась в инженерную дисциплину.

## Многоликая энергия

Подавляющее число людей не понимают главного: в отличие от материалов, которые могут служить многократно, **энергию можно использовать только один раз, и практически вся она сконцентрирована в ядрах атомов.** Энергия — понятие древнее: оно встречается уже у Аристотеля (ενηργεια), где означает некое деятельное начало. С возникновением науки стали различать потенциальную и кинетическую энергию, тепловую энергию, энергию химических реакций и т.д. и, наконец, *работу*, которую можно выполнить, используя различные виды энергии. Трудом Роберта Майера (1842) и Германа Гельмгольца (1847) был установлен закон сохранения энергии (первый закон термодинамики, по словам Майкла Фарадея, «высший из всех, доступных человеческому пониманию»): *энергия не возникает и не уничтожается, она только переходит из одной формы в другую.*

В 1847 г. Джеймс Джоуль установил механический эквивалент теплоты: 1 ккал = 427 кгм, и встал вопрос о законах превращения тепла в работу. В действительности он возник еще раньше, когда тепло представляли себе как некую невесомую жидкость — теплород, а распространение тепла — как перетекание этой жидкости от горячего тела к холодному.

В 1824 г. молодой офицер инженерных войск Сади Никола Карно написал сочинение «О движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу», в котором установил, что с помощью тепловых машин в работу можно превратить не все тепло, а только его часть  $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$ , где  $T_1$  и  $T_2$  — абсолютная начальная и конечная температура тепловой машины. Важно отметить, что обычно использование энергии проходит через стадию тепла, а следовательно, подчиняется принципу Карно. При этом только часть тепла можно обратить в работу, а другая его часть безвозвратно теряется (переходит в низкопотенциальное тепло, которое в работу обратить нельзя); мера этих потерь называется *энтропией*. Энтропия замкнутой системы непрерывно растет, пока в ней совершается работа, и этот факт составляет содержание второго закона термодинамики.

Сегодня общая мощность энергетики мира составляет  $\approx 1.6 \cdot 10^{13}$  Вт [4], т.е. в среднем  $\sim 2$  кВт на человека, а в индустриально развитых странах даже 6–12 кВт/чел. Рост производства энергии (1.5%/год) опережает рост населения (1.17%/год) [5] (в основном за счет развивающихся стран), и становятся актуальными вопросы: насколько этот рост обеспечен природными ресурсами топлива, существуют ли пределы роста генерации энергии и насколько они обоснованы.

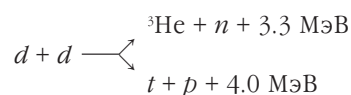
Основной ресурс энергии на Земле — излучение Солнца: его общая мощность, достигающая по-

верхности Земли, равна  $0.8 \cdot 10^{17}$  Вт, т.е. примерно в 5 тыс. раз превышает мощность всей энергетики мира, а его средняя мощность равна  $\sim 160$  Вт/м<sup>2</sup>. Из этой мощности только  $\sim 0.3\%$  ( $\sim 2 \cdot 10^{14}$  Вт) усваивается растениями в процессе фотосинтеза, а остальная часть расходуется на ветры, облака, течения — все, что мы называем климатом и погодой.

В древности основным источником энергии служили дрова, т.е. продукция фотосинтеза, образующаяся под действием солнечных лучей. В эпоху промышленной революции (XVIII в.) стали использовать уголь, в 1856 г. пробурили первую нефтяную скважину, а в XX в. начали интенсивно жечь природный газ. Во всех случаях при этом используется химическая энергия горения углерода, которая на протяжении веков согревала человека:  $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 4.2$  эВ.

Энергию деления ядер урана:  $U \rightarrow$  осколки + 200 МэВ — человек начал использовать только в середине XX в. В каждом акте деления выделяется энергия в 50 млн раз бóльшая, чем при сгорании одного атома углерода, поэтому потенциальные запасы энергии в Земле много больше, чем думали 100 лет назад.

Энергию синтеза ядер человек еще не освоил, но уже научился освобождать — пока только в виде взрыва термоядерной бомбы, в которой инициируется реакция  $d + t \rightarrow {}^3\text{He} + n + 17.6$  МэВ. Именно эта, а также реакции



являются потенциальным источником ядерной энергии синтеза.

Из табл.1 видно, что известные сегодня потенциальные запасы ядерного топлива на много порядков превышают запасы топлива органического

**Таблица 1**  
**Ресурсы энергии на Земле\***

Реакция	Ключевой элемент	Среднее содержание в литосфере, г/г	Среднее содержание в океане, г/г	Удельная энергия, Дж/г	Общее содержание в Земле, Дж	Коммерческие ресурсы, Дж	Ресурс, лет
$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 4.2$ эВ	C	—	—	$\sim 3 \cdot 10^4$	Нефть + газ, уголь	$\sim 2 \cdot 10^{22}$ $\sim 2 \cdot 10^{23}$	$\sim 50$ $\sim 500$
$n + (U, Th) \rightarrow$ $\rightarrow$ осколки + 200 МэВ	U Th	$4 \cdot 10^{-6}$ $10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-9}$ $< 5 \cdot 10^{-10}$	$0.83 \cdot 10^{11}$ $0.83 \cdot 10^{11}$	$\sim 3 \cdot 10^{28}$ $\sim 8 \cdot 10^{28}$	$\sim 10^{24}$ $\sim 3 \cdot 10^{24}$	$\sim 2000$ $\sim 6000$
$d + d \rightarrow \begin{cases} {}^3\text{He} + n + 3.3 \text{ МэВ} \\ t + p + 4.0 \text{ МэВ} \end{cases}$	D	$1.5 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$0.9 \cdot 10^{11}$	$\sim 2 \cdot 10^{30}$	?	?
$d + t \rightarrow {}^4\text{He} + n + 17.6$ МэВ	${}^6\text{Li}$	$3.7 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	$2.9 \cdot 10^{11}$	$\sim 10^{29}$	?	?
$d + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + p + 18.3$ МэВ	${}^3\text{He}$	$7.3 \cdot 10^{-19}$	—	$4.9 \cdot 10^{11}$	$\sim 10^{15}$	?	?

\* Таблица составлена по данным справочника [6] и отчета [7]. При вычислениях принято, что масса Мирового океана равна  $\sim 10^{21}$  кг, а масса сухопутной литосферы на глубину 300 м равна  $\sim 10^{20}$  кг. В ресурсе ядерной энергетики учтены только богатые руды с содержанием урана  $\geq 0.1\%$ . В ресурс не включены запасы урана в океане ( $\sim 10^{26}$  Дж) и бедных рудах, стоимость извлечения которого сегодня превышает экономически приемлемую.

**виды энергии**

тепловая  
химическая ( $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 4.2 \text{ эВ}$ )  
ядерная ( $U \rightarrow \text{осколки} + 200 \text{ МэВ}$ )

**источники энергии сегодня**

биомасса  
гидро, ветер  
уголь  
нефть  
газ  
ядра – деление  
ядра – синтез  
Солнце

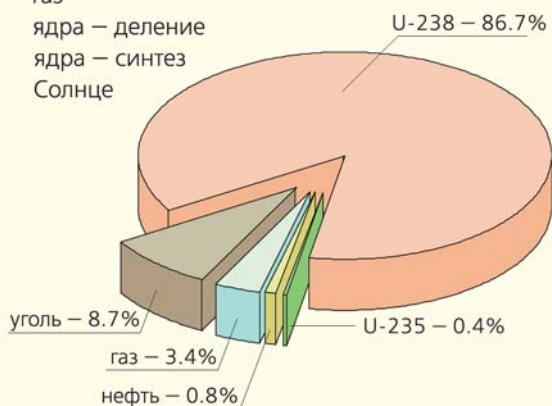


Рис.1. Современные рентабельные запасы топлива.

(рис.1). Как надолго их хватит? Согласно прогнозам, к середине XXI в. население Земли (рис.2) увеличится до 9 млрд человек [5], а мощность производимой энергии удвоится — до  $3 \cdot 10^{13}$  Вт, т.е.  $\sim 10^{21}$  Дж/год, или  $\sim 3$  кВт/чел. [8]. Чтобы обеспечить такую энергетику дровами, необходимо сжигать  $\sim 20\%$  ежегодной продукции фотосинтеза. Нефть и газ также не могут решить эту задачу, поскольку при прогнозируемой мощности будущей энергетики, по оценкам, их ресурса хватит не больше, чем на 50–100 лет. Угля хватит лет на 300–500, однако

экологический ущерб от его сжигания оценивается сегодня как неприемлемый. После этого останется только ядерная энергия, а также энергия солнечного излучения — тоже ядерная: Солнце светит за счет реакции слияния четырех протонов в ядро гелия ( $4p \rightarrow {}^4\text{He} + 26.73 \text{ МэВ}$ ).

Существует также проблема «теплового загрязнения», а именно — предел роста производства энергии без нарушения равновесия биосферы Земли. Если численность населения нашей планеты стабилизируется на уровне  $\sim 12$  млрд человек и все они захотят жить на уровне современных развитых стран, т.е. потреблять энергию  $\sim 10$  кВт/чел, общая мощность энергетики вырастет до  $\sim 10^{14}$  Вт =  $10^5$  ГВт. Эта энергия вдвое больше, чем прогноз на конец XXI в. и составляет  $\sim 0.1\%$  от мощности солнечной энергии, приходящей на Землю. Такой рост энергии приведет к приросту средней температуры Земли примерно на  $0.1^\circ\text{C}$ , т.е. даже максимальный сценарий роста энергетики не должен разрушить тепловой баланс биосферы Земли (но уже близок к допустимому пределу).

Средняя мощность излучения Солнца у поверхности Земли с учетом ночных часов и облачных дней не превышает  $\sim 50$  Вт/м<sup>2</sup>, а если учесть эффективность ( $\sim 20\%$ ) современных преобразователей излучения в электричество [9], она снижается до  $\sim 10$  Вт/м<sup>2</sup>. Чтобы обеспечить бытовые потребности ( $\sim 1$  кВт/чел), достаточно покрыть фотопанелью крышу дома площадью 100 м<sup>2</sup>, что вполне реально и уже сейчас делается в южных странах. Таким способом можно удовлетворить все бытовые нужды (хотя и очень дорого), но это не решает проблем промышленности, транспорта и любого крупного производства, которое требует значительно большей концентрации энергии. В отдаленном будущем, когда будут исчерпаны все земные запасы топлива, излучение Солнца останется единственным источником энергии, и, если к этому моменту человечество еще будет существовать, оно обязано найти способ его эффектив-

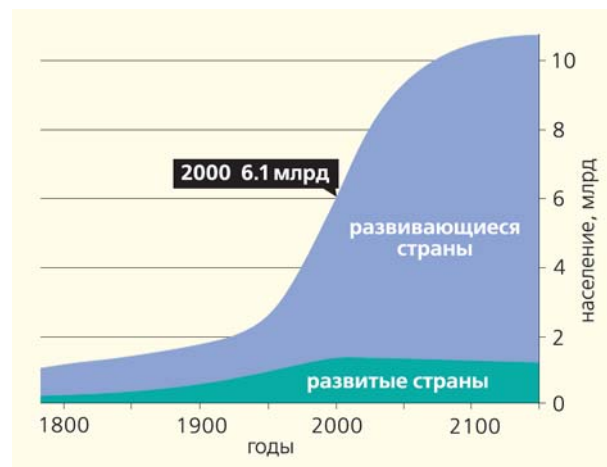
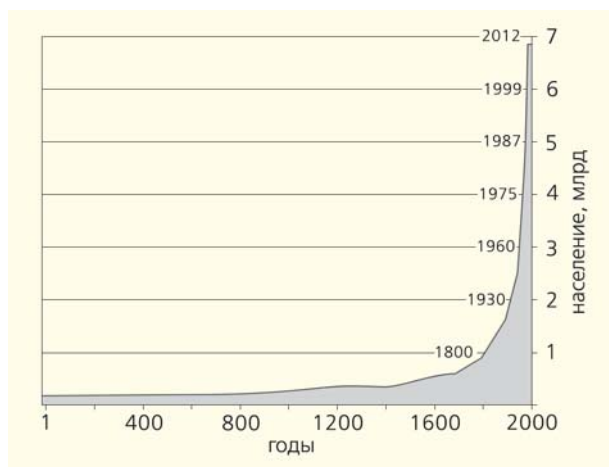


Рис.2. Рост численности населения Земли с начала нашей эры (слева) и прогноз его дальнейшего увеличения (справа).

ного использования. Топливный ресурс ядерной энергетики, с учетом запасов урана в океане и земной коре, — миллионы лет, так что у человечества достаточно времени для перехода в эпоху солнечной энергетики, которая свободна от проблемы «теплового загрязнения».

### Ядерный ресурс

Открытие деления ядра урана произошло в декабре 1938 г., уже через четыре года, в декабре 1942 г., была осуществлена цепная ядерная реакция, а в августе 1944 г. были построены первые промышленные реакторы. Единственной целью этих работ было создание атомной бомбы, и первые из них были взорваны в июле и августе 1945 г. Ужасный эксперимент наглядно продемонстрировал, что в ядрах урана сосредоточена огромная энергия, которую при определенных условиях можно освободить и использовать.

Начало мирного использования энергии ядра датируется 27 июня 1954 г., когда в Обнинске под Москвой атомная электростанция (АЭС) на тепловых нейтронах мощностью 30 МВт (тепл) (5 МВт (эл.)) впервые дала ток в городскую сеть. В США ведут отсчет от пуска первого экспериментального реактора на быстрых нейтронах EBR-1 мощностью 1.2 МВт (тепл), Айдахо, 1951 г. Первые промышленные АЭС с быстрыми реакторами были разработаны под руководством А.И.Лейпунского в 60-х годах прошлого века. Но они оказались намного дороже АЭС с тепловыми реакторами, и развитие атомной энергетики пошло по пути совершенствования реакторов на тепловых нейтронах, т.е. на основе опыта, полученного при создании атомного оружия и атомных подводных лодок. Последствия этого решения стали ясны много позже, и мы к ним еще вернемся.

В настоящее время во всем мире работает 438 ядерных реакторов (рис.3, 4) общей мощностью

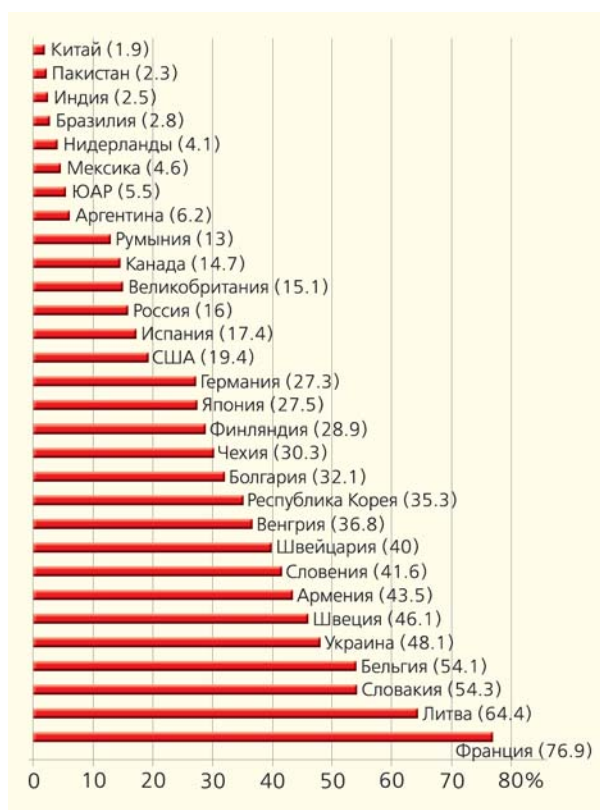


Рис.3. Доля атомной энергии в выработке электричества в разных странах по данным МАГАТЭ 2007 г.

372 ГВт, которые производят ~6% энергии и ~14% электричества [8]. При этом для работы АЭС с электрической мощностью 1 ГВт в течение года надо всего ~200 т природного урана, в то время как для работы тепловой станции равной мощности нужно ~2 млн т угля (эшелон угля в день). А радиоактивность золы и дымовых шлейфов ТЭС в несколько раз превышает радиоактивный фон АЭС.

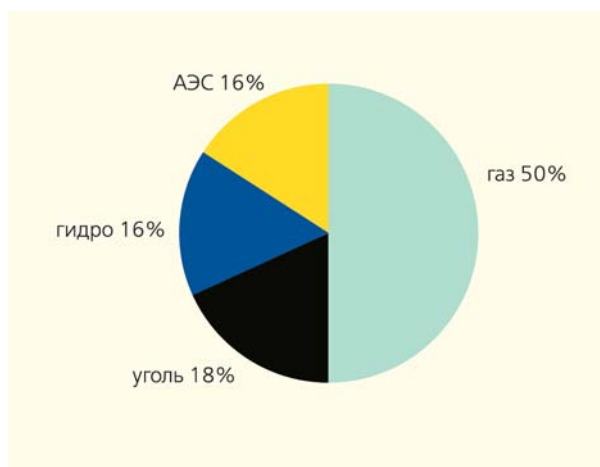
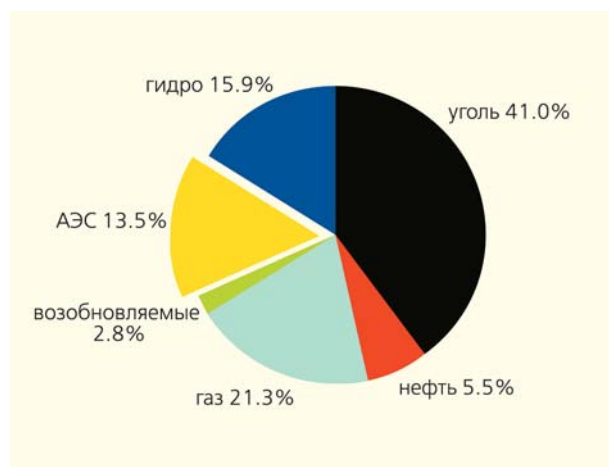


Рис.4. Доля атомной энергии в выработке электричества в мире (слева) и в России (данные 2008 г.).



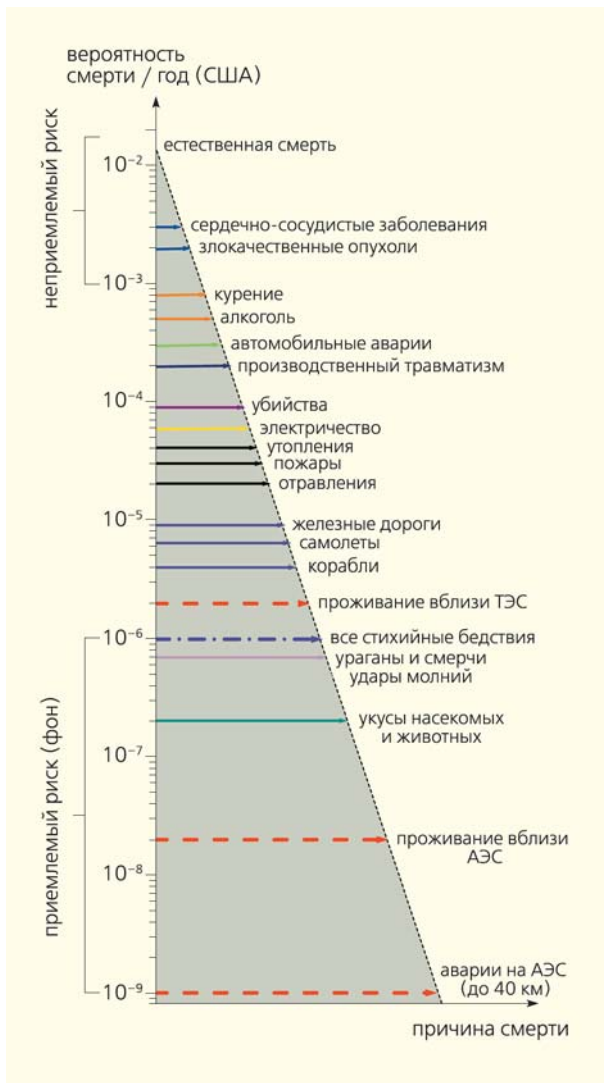


Рис.5. Вероятность смерти человека при различных факторах риска. На 1 ГВт (эл.) в топливном цикле угольных станций гибнет около 300 человек, а в цикле АЭС — в 500 раз меньше.

У АЭС с точки зрения экологии есть несомненные преимущества (рис.5, 6): при работе в штатном режиме добавочная вероятность смерти вблизи АЭС в 100 раз меньше, чем вблизи ТЭС, что сравнимо с вероятностью погибнуть от удара молнии и в 10 тыс. раз меньше вероятности гибели в автомобильной катастрофе [10]. Конечно, на АЭС возможны аварии, и самая ужасная из них случилась в Чернобыле в 1986 г.: в ней погибло около 50 непосредственных ликвидаторов аварии и девять детей, по прогнозам, от ее последствий можно ожидать еще ~4 тыс. смертей, из зараженных районов переселено ~600 тыс. жителей, а общий ущерб от аварии оценивается в сотни млрд долл. [11]. Но масштаб этой трагедии только отчасти связан с ядерной спецификой: такова общая особенность аварий на всех крупных промышленных объектах с большой концентрацией энергии, примерами которых могут служить недавняя авария на Саяно-Шушенской ГЭС (погибли 76 человек) или авария 1984 г. на химическом заводе в Бхопале (Индия), которая унесла одновременно ~5 тыс. жизней и еще ~150 тыс. человек — впоследствии. Все это — плата за энергию и комфорт, который она с собой приносит, и отказаться от этого трудно, точно так же, как и от автомобилей, хотя только в России на дорогах ежегодно гибнет ~30 тыс. человек, а во всем мире — свыше миллиона.

Главная причина возражений против атомной энергетики состоит в том, что в современном виде она неэкономична, небезопасна и не имеет устойчивого будущего. По многим причинам, первая из которых — ограниченность ресурсов ядерного топлива. В табл.1 приведены общие ресурсы энергии, запасенные в ядрах урана и тория. Но современная ядерная энергетика использует не весь уран, а только его изотоп  $^{235}\text{U}$ , содержание которого в природном уране всего 0.72%, т.е. для нее топливный ресурс в 200 раз меньше и составляет всего ~50 лет. Грамотные противники атомной энергии все это знают, а неграмотные чувствуют, и в этом корень эмоциональных протестов «зеле-



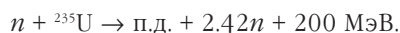
Рис.6. Тепловая (слева) и атомная станции (справа).

ных» (в сочетании с безотчетной радиофобией) против необходимого и неизбежного блага энергии ядра.

Истоки нынешнего кризиса атомной энергетики следует искать в истории и обстоятельствах ее возникновения. Она появилась как побочный продукт программы создания атомного оружия, да к тому же в условиях войны, когда не время было думать о радиоактивных отходах, ресурсах и безопасности сверх абсолютно необходимой. Теперь же пришло время создавать новую ядерную энергетику с перспективой в тысячи и миллионы лет, где все эти требования должны быть учтены с самого начала. Чтобы понять пути этого обновления, надо несколько глубже взглянуть на суть физических процессов, происходящих в ядерном реакторе и во всем его топливном цикле.

### Арифметика ядерного реактора

Ядро урана может делиться самопроизвольно, но такое спонтанное деление происходит очень редко: из  $2.56 \cdot 10^{24}$  ядер, которые содержатся в 1 кг урана, за 1 с спонтанно делится только 10. Однако при облучении нейтронами ядра урана делятся с большой вероятностью, если для этого обеспечить необходимые критические условия, которые, в частности, зависят от конструкции реактора, состава топлива и энергии нейтронов. Природный уран состоит из смеси изотопов  $^{238}\text{U}$  (99.280%),  $^{235}\text{U}$  (0.715%) и  $^{234}\text{U}$  (0.005%), причем  $^{235}\text{U}$  делится нейтронами всех энергий (преимущественно медленными (тепловыми) нейтронами с энергией 0.025—1 эВ), а  $^{238}\text{U}$  — только быстрыми (с энергией нейтронов выше 1 МэВ). При делении ядер урана образуются продукты деления (п.д.): ~300 изотопов 35 элементов из середины таблицы Д.И.Менделеева, большинство из которых быстро распадаются (уже через несколько дней после выгрузки отработавшего топлива из реактора остается только ~50 значимых изотопов). При каждом делении ядра  $^{235}\text{U}$  освобождается два или три нейтрона (в среднем  $\nu = 2.42$ ) со средней энергией ~2 МэВ:



Эти вторичные нейтроны могут вызвать последующие деления и породить уже  $2.42 \cdot 2.42 = 4.86$  нейтронов, следующее поколение даст  $(2.42)^3 = 11.76$  нейтронов, и т.д., т.е. становится возможной *цепная реакция* деления. В естественной смеси изотопов  $^{238}\text{U}$  в 139 раз больше, чем  $^{235}\text{U}$ , поэтому в такой смеси цепная реакция невозможна: родившиеся нейтроны поглощаются ядрами  $^{238}\text{U}$ , не успев замедлиться. Такая реакция возможна, однако, в реакторе со специальной конструкцией, когда небольшие блоки урана погружены в замедлитель нейтронов (в графит или тяжелую воду), где нейтроны замедляются от энергии ~1 МэВ до

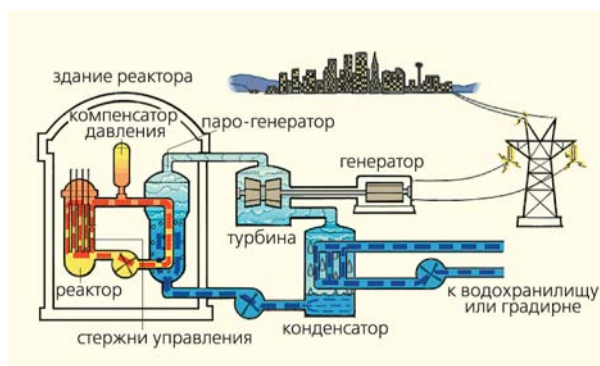
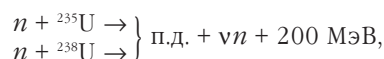


Рис.7. Схема производства электричества на АЭС.

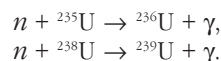
энергии менее 1 эВ и вероятность захвата ядром  $^{235}\text{U}$  больше, чем  $^{238}\text{U}$ , примерно в 200 раз. Именно так была осуществлена первая цепная ядерная реакция на природном уране при температуре  $T = 300 \text{ K}$  ( $E = 0.04 \text{ эВ}$ ) реактора, где нейтроны замедляются до теплового равновесия.

В большинстве современных АЭС ядерное топливо обогащают до ~4%  $^{235}\text{U}$ , а в качестве замедлителя используют обычную воду. Та же вода используется для отвода тепла, выделившегося при делении ядер, а также для выработки электроэнергии с помощью паровых турбин — электрогенераторов (рис.7). Можно обойтись и без обогащения, если в качестве замедлителя использовать «тяжелую воду»  $\text{D}_2\text{O}$ , т.е. воду, в которой протоны заменены ядрами дейтерия (в Канаде именно такие реакторы приняты за базовые). Коэффициент конверсии тепла в электричество на современных АЭС достигает величины  $\eta \approx 0.35$ , но в среднем тепловая мощность АЭС с электрической мощностью 1 ГВт (эл.) соответствует ~3 ГВт (тепл.).

В смеси изотопов урана нейтроны не только вызывают реакции деления,

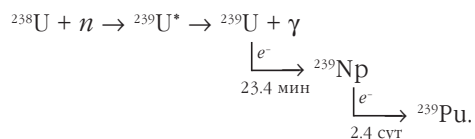


но также испытывают радиационный захват ( $n\gamma$ -реакция):



Сечения (вероятности)  $\sigma_{n\gamma}(E)$  этих реакций зависят от энергии нейтронов  $E$  и сравнимы с сечениями  $\sigma_f(E)$  реакций деления, а от их отношения  $\alpha = \sigma_{n\gamma}(E)/\sigma_f(E)$  сильно зависят нейтронный баланс реактора и сама возможность цепной реакции. В типичном промышленном реакторе ВВЭР-1000 (водо-водяной реактор с электрической мощностью 1 ГВт (эл.), зарубежный аналог — PWR) топливо представляет собой смесь ~4,3%  $^{235}\text{U}$  + 95,7%  $^{238}\text{U}$ , для которой доля делений равна ~0,4, т.е. в ~40% случаев ядро  $^{235}\text{U}$  делится, а в остальных случаях происходит радиационный захват нейтронов ядрами  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ . Именно эта  $n\gamma$ -реакция обеспечи-

вает наработку оружейного плутония ( $^{239}\text{Pu}$ ) в цепочке реакций:



В серийный реактор ВВЭР-1000 загружают 70 т урана, в котором 3.1 т  $^{235}\text{U}$ , и каждый год 1/3 отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), т.е. 23 т, заменяют на свежее. Таким образом, «кампания топлива» длится три года, и за это время «сгорает» 2 т (~65%) загруженного  $^{235}\text{U}$ , а несгоревший  $^{235}\text{U}$  (1.1 т) остается в ОЯТ (11.6 кг/т). При каждом делении выделяется 200 МэВ =  $3.2 \cdot 10^{-11}$  Дж, и, чтобы обеспечить мощность 1 ГВт (эл.), в реакторе каждую секунду должно происходить  $10^{20}$  делений ядер, т.е. 0.039 г/с, или 1240 кг/год. Поскольку реактор эффективно работает только ~80% времени, нужно обеспечить деление массы ядер ~1 т. При этом делится 700 кг  $^{235}\text{U}$ , а остальные ~300 кг восполняются за счет деления ядер  $^{238}\text{U}$  (30 кг) и  $^{239}\text{Pu}$  (270 кг), который нарабатывается из  $^{238}\text{U}$  в процессе работы реактора.

Кроме несгоревшего  $^{235}\text{U}$  (11.6 кг/т) ОЯТ содержит наработанный в реакторе  $^{239}\text{Pu}$  (5.6 кг/т ОЯТ или 130 кг/год), который, подобно  $^{235}\text{U}$ , также эффективно делится и может быть использован в дальнейшем как ядерное топливо (и взрывчатка: первая атомная бомба была начинена  $^{239}\text{Pu}$ ).

Нейтронный баланс реактора зависит от значений  $\nu$  и  $\alpha$  для  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ , а также от вклада порогового деления ядер  $^{238}\text{U}$ . В тепловом реакторе  $\alpha = 0.17$ ,  $\nu = 2.42$ , а вклад  $^{238}\text{U}$  составляет около 3%, что дает 2.07 нейтрона, или примерно один избыточный нейтрон после вычета одного нейтрона на поддержание цепной реакции. С учетом утечки и паразитного поглощения нейтронов, для производства  $^{239}\text{Pu}$  остается меньше одного нейтрона, т.е. образующийся  $^{239}\text{Pu}$  не компенсирует расход  $^{235}\text{U}$ . В быстром реакторе для  $^{239}\text{Pu}$  в равновесном режиме  $\alpha \approx 0.2$ ,  $\nu = 2.9$ , а вклад  $^{238}\text{U}$  возрастает до ~10%, что увеличивает число вторичных нейтронов до 2.6, т.е. остается 1.6 нейтрона, которых даже с учетом потерь достаточно для расширенного воспроизводства  $^{239}\text{Pu}$ , а тем более для равновесного режима работы реактора.

### Радиоактивные отходы

Радиоактивные отходы (РАО) — это продукты деления урана (более сотни изотопов из середины таблицы Менделеева), масса которых (~42 кг/т ОЯТ) примерно равна массе сгоревших урана и плутония, и ~20 изотопов трансуранических элементов: нептуния (Np), плутония (Pu), америция (Am) и кюрия (Cm), которые образуются из  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  при захвате нейтронов их ядрами. Содержа-

ние трансуранических в ОЯТ невелико (табл.2):  $^{237}\text{Np}$  — 0.58 кг/т ОЯТ, изотопы Pu ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ) — 4.5 кг/т, Am — 0.15 кг/т, Cm — 0.04 кг/т, но именно они (вместе с  $^{239}\text{Pu}$ ) определяют долговременную радиоактивность РАО.

Эта «ядерная зола» живет своей жизнью, и с годами соотношение элементов в ней меняется, например, через 30 лет масса америция (за счет распада  $^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am}$ ) увеличится почти в 10 раз (1.2 кг/т), а три четверти кюрия распадется. За год из реактора мощностью 1 ГВт (эл.) выгружают ~23 т ОЯТ, в которых содержится 970 кг продуктов деления, 270 кг  $^{235}\text{U}$ , 130 кг  $^{239}\text{Pu}$ , 100 кг других изотопов Pu, 3.5 кг Am и 0.9 кг Cm. Общая масса Am и Cm в выгружаемом ОЯТ невелика: 4.4 кг/год для станции мощностью 1 ГВт (эл.) или 1.6 т/год для всех АЭС мира, но что с ними делать дальше — пока не ясно.

Как правило, публика плохо понимает разницу между отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО), которые по массе составляют только ~5% от ОЯТ, и отсюда проистекает множество недоразумений (включая парламентские дебаты по поводу закона о ввозе ОЯТ в Россию). В каждой тонне ОЯТ содержится 42 кг продуктов деления и ~11 кг  $^{236}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$  и изотопов Pu, т.е. 53 кг РАО, а остальное — 930 кг  $^{238}\text{U}$ , 11.6 кг несгоревшего  $^{235}\text{U}$  и 5.6 кг наработанного  $^{239}\text{Pu}$ . Поэтому ОЯТ — это не только (и не столько)

Таблица 2

#### Содержание урана и трансуранических элементов в ОЯТ ВВЭР-1000\*

Нуклид	Масса при выгрузке, кг/т ОЯТ	Масса после 30 лет хранения, кг/т ОЯТ	Период полураспада, $T_{1/2}$ , лет
U-235	11.56	11.58	$7.04 \cdot 10^8$
U-236	5.46	5.47	$2.34 \cdot 10^7$
U-238	930.3	930.3	$4.47 \cdot 10^9$
Np-237	0.58	0.62	$2.15 \cdot 10^6$
Pu-238	0.18	0.15	87.5
Pu-239	5.58	5.65	$2.41 \cdot 10^4$
Pu-240	2.31	2.30	$6.56 \cdot 10^3$
Pu-241	1.46	0.34	14.25
Pu-242	0.51	0.51	$3.73 \cdot 10^5$
Am-241	0.048	1.13	$4.33 \cdot 10^2$
Am-242	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-8}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$
Am-242m	0.001	0.001	$1.41 \cdot 10^2$
Am-243	0.097	0.097	$7.37 \cdot 10^3$
Cm-242	0.015	$\sim 2 \cdot 10^{-6}$	0.45 (163 дня)
Cm-243	$\sim 4 \cdot 10^{-4}$	$\sim 2 \cdot 10^{-4}$	29.1
Cm-244	0.028	0.009	18.1
Cm-245	0.001	$\sim 10^{-4}$	8.5
Cm-246	$\sim 10^{-4}$	0.001	$4.75 \cdot 10^3$
Сумма трансуранических	10.81	10.81	

\* Таблица соответствует топливу реактора ВВЭР-1000 с обогащением 4.3%  $^{235}\text{U}$  и выгоранием 40 МВт·сут/кг.





кущей), третий еще не достиг уровня технологических и инженерных решений. В этом одна из основных трудностей нынешней ядерной энергетики, вызывающая ее неприятие — вплоть до требований запретить.

## Проблемы

Сегодня решением обозначенных проблем ядерной энергетики озабочены во всех развитых и развивающихся странах, и повсюду разрабатываются программы ее развития. (В России такая программа была одобрена правительством в 2000 г. [12]). Во всех этих программах много графиков, таблиц и формул, но суть их проста: ядерная энергетика будущего должна удовлетворять следующим критериям:

- быть обеспеченной ресурсами,
- быть безопасной,
- сохранять экологию,
- быть экономичной.

Нынешняя ядерная энергетика доказала свою работоспособность, но она соответствует этим требованиям лишь отчасти. И дело здесь не только в авариях типа Чернобыльской: столь же неприятен риск попадания  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  в руки террористов и других антисоциальных групп. А при сохранении нынешней технологии ядерного топливного цикла эту проблему кардинально решить нельзя.

В наследство от ядерной технологии военных лет остались водоемы и целые территории, отравленные радиоактивными отходами, и они останутся такими в течение многих сотен лет. Сейчас ОЯТ накапливается в хранилищах (11,5 тыс. т ежегодно) вместе со всеми РАО (~600 т/год, в том числе ~45 т трансуранов). Кардинальное решение проблемы РАО и безопасности ядерной энергетики возможно только при переходе к такому ядерному топливному циклу, который не требует выделения  $^{239}\text{Pu}$  из ОЯТ, а также обеспечит надежную изоляцию РАО и уничтожение трансуранов. Эти задачи, однако, пока не решены, хотя их важность уже осознана даже на государственном уровне: во Франции, где сегодня 76% электричества вырабатывается на АЭС, по этому поводу даже принят специальный закон, запрещающий строительство новых АЭС, если в обозримом будущем не будет решена проблема РАО. Кроме того, безопасность реакторов нового поколения должна базироваться не на многочисленных системах контроля, а на физических законах, которые позволяют исключать аварии типа Чернобыльской в принципе\*.

\* Алвин Вейнберг, который вместе с Ферми создавал первый реактор, а после его смерти был одним из самых авторитетных специалистов в области ядерной энергии, в 70-х годах прошлого столетия предлагал объявить мораторий на строительство новых АЭС, пока не будет создан реактор, удовлетворяющий этим условиям. С тех пор прошло полвека, но такой реактор до сих пор не построен.

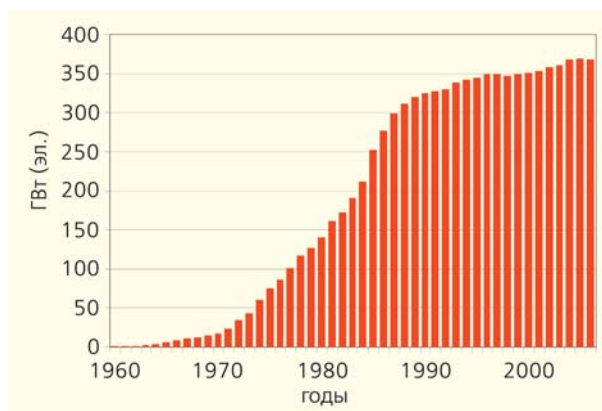


Рис.8. Динамика роста мощностей АЭС в мире. На сегодня в 30 странах мира работают 438 АЭС с суммарной мощностью 372 ГВт [8].

Но главное — в другом: современная ядерная энергетика не обеспечена долгосрочными топливными ресурсами, поскольку использует только  $^{235}\text{U}$ , коммерческие ресурсы которого на Земле, по официальным оценкам, не превышают 30 тыс. т. Легко видеть, что при прогнозируемой мощности энергетики в середине XXI в. (~ $3 \cdot 10^4$  ГВт) и электрической мощности АЭС ~ $10^3$  ГВт (эл.) необходимо расходовать ~1 тыс. т  $^{235}\text{U}$  в год, т.е. эти запасы  $^{235}\text{U}$  будут исчерпаны за 30—50 лет (в настоящее время расходуется ~600 т  $^{235}\text{U}$  в год).

Наконец, экономика нынешней ядерной энергетики тоже неудовлетворительна по ряду причин. Прежде всего, хотя себестоимость электроэнергии, производимой на работающих АЭС, примерно в два-три раза ниже стоимости электричества тепловых электростанций (ТЭС), стоимость и длительность сооружения АЭС много больше, чем ТЭС. Кроме того, возросшие требования к безопасности АЭС еще больше увеличили их стоимость и их строительство стало экономически невыгодным, войдя в противоречие с основным принципом рыночной экономики: максимально быстрая прибыль. Именно это обстоятельство в сочетании с Чернобыльской аварией привело к замедлению темпов развития АЭС (рис.8). Ядерная энергетика возникла при мощной поддержке государства (примеры: США, СССР, Франция). Будущую ядерную энергетику тоже не создать без государственной поддержки, поскольку устойчивая энергетика — такой же важный элемент развития и стабильности общества, как образование, наука, медицина и социальная защита.

## Их решение

Как ученые и инженеры намерены решать все перечисленные проблемы: ресурсы, безопасность, экология, экономика? Прежде всего, надо пре-

одолеть ресурсное ограничение по  $^{235}\text{U}$ , и как это сделать — известно давно: надо перейти от нынешних тепловых реакторов к **быстрым реакторам**. В этих реакторах отсутствует замедлитель, а быстрые нейтроны, как уже отмечалось, способны делить также и ядра  $^{238}\text{U}$ . Но, главное,  $^{239}\text{Pu}$ , который нарабатывается в реакторе, в быстром спектре нейтронов значительно эффективнее, чем в тепловом: для него среднее число вторичных нейтронов на деление ( $\nu = 2.89$ ) больше, чем для урана ( $\nu = 2.42$ ), а кроме того, заметный вклад вносит деление ядер  $^{238}\text{U}$ . Все это вместе обеспечивает в быстром реакторе существенный избыток нейтронов, который позволяет сделать его работу более устойчивой. Если исходную смесь изотопов урана обогатить  $^{235}\text{U}$  до ~15%, то в реакторе устанавливается равновесный режим работы:  $^{239}\text{Pu}$ , образующийся в нем из  $^{238}\text{U}$ , компенсирует выгорание  $^{235}\text{U}$ , и реактор не требует подпитки этим изотопом, т.е. работает только за счет деления  $^{238}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ . Тем самым топливные ресурсы современной ядерной энергетики возрастают по крайней мере в 200 раз, срок их исчерпания отодвигается на 5—10 тыс. лет, а с учетом запасов урана в океане и в бедных рудах, непригодных для тепловых реакторов, ядерного топлива хватит на миллионы лет.

Запасы ядерного топлива можно уподобить заготовке дров, из которых только 0.72% сухих, остальные же — сырые. Рачительный хозяин использует сухие дрова только на растопку, а топит печь сырыми дровами. В противовес этому сегодня ядерное топливо расходуют крайне расточительно: «ядерную печь» топят лишь сухими дровами ( $^{235}\text{U}$ ), а когда они закончатся (довольно скоро), станет невозможно использовать и все остальные ( $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ ). Таким образом, существует реальная угроза, что главный источник энергии на Земле, заключенный в ядрах урана и тория и освобожденный в XX в., станет недоступен нашим потомкам.

Эту проблему понимал уже Энрико Ферми [13]. Вскоре после запуска первого реактора он выдвинул концепцию «бридинга» (расширенного воспроизводства) ядерного топлива, суть которой сводилась к следующему. В отличие от теплового, в быстром реакторе существует избыток нейтронов (~2 избыточных нейтрона на деление вместо ~1 в тепловом), который позволяет нарабатывать избыточный  $^{239}\text{Pu}$  и затем использовать его для запуска других быстрых реакторов. (При специальных условиях один такой реактор-бридер за 6—8 лет может наработать топливо еще для одного быстрого реактора.)

Ферми при этом понимал, что столь громоздкой многоступенчатой схемы можно избежать, если вместо  $^{239}\text{Pu}$  для начальной загрузки быстрого реактора использовать  $^{235}\text{U}$ , но в то время (1944) промышленное разделение изотопов урана еще не было освоено (это произошло позже).

К сожалению, сразу же после окончания войны Ферми отошел от реакторных дел и вскоре умер (1954), а стереотип, созданный им, остался на долгие годы\*. Разделение изотопов урана  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  — сложный и трудоемкий процесс, но теперь он полностью освоен, и сегодня 15%-е обогащение 1 т природного урана в несколько раз дешевле производства 100 кг  $^{239}\text{Pu}$ , необходимого для эквивалентной замены 150 кг  $^{235}\text{U}$ , поэтому имеет смысл обсуждать только ресурсные ограничения по  $^{235}\text{U}$ .

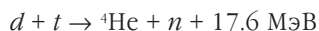
Для запуска быстрого реактора мощностью 1 ГВт (эл.) в него надо загрузить ~70 т урана, обогащенного  $^{235}\text{U}$  до ~15%, т.е. ~10 т  $^{235}\text{U}$ , и при работе в равновесном режиме такой реактор в дальнейшем не требует подпитки  $^{235}\text{U}$ . Во всех разведанных месторождениях содержится  $5.4 \cdot 10^6$  т урана, или  $\sim 3 \cdot 10^4$  т  $^{235}\text{U}$  [7]; это позволяет запустить  $3 \cdot 10^3$  быстрых реакторов общей мощностью ~ $3 \cdot 10^3$  ГВт (эл.), что примерно в три раза превышает ранее полученную оценку (~ $10^3$  ГВт) мощности атомной электроэнергетики будущего. Но переход к быстрым реакторам возможен не ранее середины века, поскольку сейчас такой реактор еще не создан и не готова технология его замкнутого ядерного топливного цикла. Эта задержка может оказаться фатальной: современные тепловые реакторы при ожидаемой к середине XXI в. мощности ~ $10^3$  ГВт сожгут за оставшиеся 40 лет почти весь ресурс  $^{235}\text{U}$ . Из этого следует, что разработку технологии быстрых реакторов надо ускорить и начинать их вводить уже через 20—30 лет.

Дополнительным источником ядерного топлива может служить  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ , накопленный в ОЯТ за 60 лет существования ядерной энергетики: к настоящему времени в мире накоплено ~250 тыс. т ОЯТ [14], в котором содержится ~ $3 \cdot 10^3$  т  $^{235}\text{U}$  и ~ $2 \cdot 10^3$  т  $^{239}\text{Pu}$ , т.е. всего ~ $5 \cdot 10^3$  т делящихся изотопов. В последующие 40 лет из тепловых реакторов будет выгружено еще ~ $5 \cdot 10^5$  т ОЯТ, содержащих ~ $8 \cdot 10^3$  т  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ , т.е. всего к середине века в ОЯТ будет накоплено  $1.3 \cdot 10^4$  т делящихся изотопов, что позволяет запустить  $1.3 \cdot 10^3$  ГВт (эл.) мощностей быстрых реакторов — даже больше, чем планируется. При максимальном сценарии развития энергетики (~ $10^5$  ГВт) и 30-процентном вкладе ядерной энергетики ( $0.3 \cdot 10^5$  ГВт или  $10^4$  ГВт (эл.)), для запуска быстрых реакторов потребуется ~ $10^5$  т  $^{235}\text{U}$  или ~20 млн т природного урана. Согласно экспертным оценкам, такое количество урана уже сегодня доступно [15]. Кроме того, только в морской

\* Сам Ферми скептически относился к будущему ядерной энергетики: он опасался, что ядерные материалы «могут попасть не в те руки»: «Мы, к сожалению, не можем ожидать особенно плодотворных результатов для человечества от мирного использования атомной энергии, если не будет найдено удовлетворительного решения многочисленных проблем предотвращения разрушительного использования ее военных возможностей» [13]. По-видимому, поэтому он не писал работ по атомной энергетике, сохранились лишь записи двух его выступлений в дискуссиях.

воде содержится еще 4 млрд т урана — ресурс ядерного топлива на миллионы лет.

Сегодня обсуждаются и другие источники ядерного топлива, например термоядерные установки, в которых в реакции термоядерного синтеза



рождаются нейтроны с энергий 14.1 МэВ. Такие нейтроны в окружающем урановом «бланкете» способны вызвать 0.85 деления ядра урана и произвести около 2.7 ядра  ${}^{239}\text{Pu}$  [16] и тем самым обеспечить наработку ядерного топлива. (Эти нейтроны можно было бы использовать также и для решения проблемы ядерных отходов, а именно для трансмутации трансурановых элементов.) С момента появления идеи термоядерного синтеза прошло уже 60 лет, и хотя его промышленная реализация отодвигается теперь еще лет на 30–40, эта мечта настолько красива, что ученые не оставляют надежды когда-либо ее осуществить (напомним, что первый промышленный ядерный реактор был построен уже через пять лет после открытия деления ядер урана).

Комплексное решение проблемы ресурсного обеспечения ядерной энергетики и обращения с ядерными отходами невозможно без организации замкнутого ядерного топливного цикла. Сегодня практически повсеместно бытует открытый цикл: ядерное топливо при этом используется однократно, и после извлечения из реактора ОЯТ помещают в долговременные хранилища (из 340 тыс. т ОЯТ, накопленных за все время существования ядерной энергетики, переработано только 90 тыс. т) [14]. Фактически тем самым создаются искусственные месторождения урана, в которых концентрация делящихся изотопов увеличена примерно в 2.5 раза по сравнению с природным ураном и в десятки раз — по сравнению с их содержанием в урановых рудах. Эти хранилища — кладовая ядерного топлива для быстрых реакторов, если мы научимся использовать ОЯТ многократно. Для этого необходимо выделить из ОЯТ продукты деления, в первую очередь лантаниды (Gd, Sm, Pm, Eu) и короткоживущие продукты деления (Cs, Sr, I, ...) — все остальное (включая актиниды) «сгорит» в нейтронном потоке быстрого реактора. Чтобы сократить время такого замкнутого ядерного топливного цикла, необходимо научиться работать с высокоактивным ОЯТ, а это потребует разработки автоматизированных линий и робототехники. Такой цикл еще не создан, но сомнений в его осуществимости нет.

Следует отметить, что замкнутый цикл имеет смысл только для быстрых реакторов, поскольку повторное использование ОЯТ в тепловых реакторах неэффективно, так как изотопы U и Pu, в больших количествах присутствующие в ОЯТ, подобно лантанидам, активно поглощают медленные нейтроны. Точно так же неэффективно сжигание в тепловых реакторах  ${}^{239}\text{Pu}$  (так называ-

емое МОХ-топливо), хотя и по другой причине: в тепловом спектре значение  $\alpha = 0.36$  для  ${}^{239}\text{Pu}$  в два раза больше, чем в быстром, поэтому в тепловом реакторе только 74% ядер  ${}^{239}\text{Pu}$  делится, а 26%  ${}^{239}\text{Pu}$  переводится в мусор — трансурановые элементы. Сегодня переработка ОЯТ намного дороже, чем его хранение, и такое положение, по видимому, сохранится до тех пор, пока не будет создана масштабная ядерная энергетика на быстрых нейтронах, позволяющая эффективно использовать  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{236}\text{U}$ ,  ${}^{237}\text{Np}$  и все изотопы Pu.

По большому счету, задача создания будущей ядерной энергетики сводится к двум: *созданию безопасного экономичного быстрого реактора и разработке его замкнутого топливного цикла*. Первый промышленный быстрый реактор БН-350 мощностью 350 МВт был построен в Советском Союзе в 1972 г. на берегу Каспийского моря и проработал 25 лет, снабжая энергией и пресной водой г.Шевченко (сегодня — Актау). В настоящее время в мире работает несколько быстрых исследовательских реакторов и единственный промышленный (реактор БН-600 в России, рис.9). Все они в качестве теплоносителя используют металл натрия. Как хорошо известно, он воспламеняется при соприкосновении с водой и воздухом, поэтому даже мелкая авария может привести к крупномасштабному пожару. Однако сегодня альтернатив ему немного: сплав свинец-висмут и чистый свинец, которые так же мало поглощают нейтроны, а замедляют — меньше. Температура плавления сплава Pb-Bi равна 124°C, на его основе в нашей стране было построено несколько реакторов для атомных подводных лодок, которые вошли в книгу рекордов: эти лодки ходили быстрее торпеды. Однако и сплав Pb-Bi не свободен от недостатков: в потоке нейтронов в реакции  $n + \text{Bi} \rightarrow \text{Po}$  образуется ядовитый, радиоактивный и к тому же летучий полоний, а кроме того, висмут редок и дорог. Свинец лишен этих недостатков, но его температура плавления составляет 327°C, что мо-



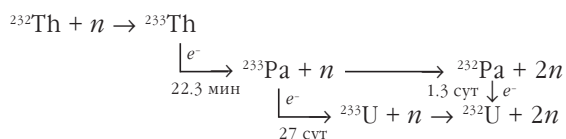
Рис.9. Общий вид промышленного быстрого реактора БН-600.



жет осложнить эксплуатацию такого реактора (хотя это еще и не доказано: он пока не построен). В настоящее время в большинстве национальных программ в качестве основы будущей энергетики выбран быстрый реактор с натриевым теплоносителем (температура плавления 98°C), несмотря на все его очевидные недостатки. Однако окончательное решение еще не принято, и оно зависит от правильного понимания конечных целей ядерной энергетики.

Остается неясной также судьба РАО, наработанных в предыдущие 60 лет ядерной энергетики, и особенно пути ликвидации трансуранов. Обсуждаются различные способы их уничтожения, в частности, предлагается создать специальные реакторы-пережигатели изотопов Np, Pu, Am и Cm и наиболее долгоживущих изотопов РАО (<sup>99</sup>Tc, <sup>151</sup>Sm, <sup>126</sup>Sn, <sup>129</sup>I, ...). В качестве одного из возможных кандидатов на эту роль рассматриваются ускорительно-бланкетные системы, т.е. подкритические реакторы, управляемые ускорителем.

До сих пор мы не обсуждали ториевый ядерный цикл. Ресурсы тория (<sup>232</sup>Th) на Земле в три раза превышают ресурсы урана, но у него нет делящихся изотопов, подобных <sup>235</sup>U. Однако в потоке нейтронов идут реакции



с образованием делящегося изотопа <sup>233</sup>U. Но вместе с этим образуется и <sup>232</sup>U, один из продуктов распада которого (<sup>208</sup>Tl) испускает очень жесткие γ-кванты, что затрудняет переработку ОЯТ ториевого реактора. Однако вместе с неизбежным переходом к робототехнике при переработке ОЯТ это обстоятельство становится несущественным.

В тепловых реакторах <sup>233</sup>U эффективнее <sup>235</sup>U (для него α = 0.085 вместо α = 0.167 для <sup>235</sup>U), однако в природе его нет и его надо предварительно наработать. В Индии (где запасы тория в монацитовых песках огромны) принята программа строительства реакторов на тории, в которых <sup>233</sup>U для начальной загрузки нарабатывается в ториевых blankets быстрых реакторов или заменяется на <sup>235</sup>U и <sup>239</sup>Pu [17].

В 60-х годах прошлого столетия в США ториевый реактор был построен и проработал несколько лет, но продолжения этот опыт не получил. В целом, однако, ториевый цикл пока слабо изучен и его будущее зависит от достижений в разработке быстрых реакторов.

Из трех изотопов, которые делятся медленными нейтронами, в природе встречается только <sup>235</sup>U. Но его очень мало, и вместо того чтобы бездумно сжигать его в современных тепловых реакторах, надо развивать атомную энергетику на быстрых нейтронах.

## Ядерная экономика, психология, политика

Важнейшим условием развития ядерной энергетики является ее экономичность и конкурентоспособность с другими источниками энергии. Эта проблема выходит за рамки чисто научной: она зависит от социальной и экономической структуры общества. Ощущение неизбежности расширения роли ядерной энергетики заметно уже сейчас: если в 2008 г. во всем мире не было построено ни одного реактора (впервые за всю ее историю), то сейчас во многих странах объявлены широкомасштабные планы строительства АЭС\* — не дожидаясь того момента, когда ученые создадут новый реактор и все противники ядерной энергетики убедятся в ее необходимости (рис.10).

Однако основная проблема ядерной энергетики сегодня — даже не оппозиция «зеленых», а отсутствие четкой стратегии ее развития при обилии мнений различных влиятельных групп ученых и инженеров. Здесь уместно напомнить историю возделывания картофеля в России. Его привезли в Европу из Америки, и долгое время к этому экзотическому растению относились настороженно, несмотря на то что правители государств всячески поощряли его возделывание (например, Наполеон учредил специальные награды). В России Екатерина II начала культивировать картофель еще в 1765 г., ее начинание продолжили и Павел, и Александр I, но без особого

\* К 2050 г. планируется ввести новые АЭС мощностью ~800 ГВт, в частности в Китае — 240 ГВт, в Индии — 470 ГВт, в России — 40 ГВт [15]. Эти планы поспешили назвать ренессансом атомной энергетики, но это тревожный знак для ее будущего: тепловые реакторы сожгут значительную часть запасов <sup>235</sup>U, необходимого для запуска быстрых реакторов. Еще более тревожно отсутствие целенаправленной работы по созданию быстрого реактора, способного решить встающие перед миром задачи уже в XXI в.

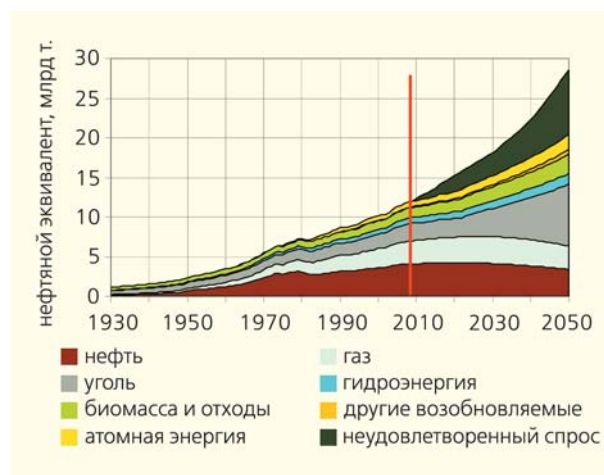


Рис.10. Структура производства энергии в мире и прогноз ее роста в будущем.



успеха. Только после двух неурожаев хлеба подряд в 1839 и 1840 гг., под угрозой голода, Николай I издал высочайшее повеление энергично и повсеместно внедрять в России «второй хлеб» — картофель, для чего раздать крестьянам казенные семена, снабдить их наставлениями по возделыванию, хранению и употреблению картофеля, а также учредил премии и награды особо отличившимся на этом поприще. Царский рескрипт вызвал всеобщее неудовольствие крестьян и в 1842 г. в некоторых губерниях вспыхнули «картофельные бунты», которые пришлось усмирять при содействии военных команд, а местами — даже картечью. К началу XX в. доля посевов картофеля в некоторых губерниях России достигла 20%.

Император Николай I был отнюдь не демократ (в советское время он был известен как Николай Палкин), но о благе отечества заботился и советам ученых людей внимал. Если бы ему вместо этого пришла в голову мысль провести всенародный «картофельный референдум», результат его предугадать нетрудно. Современные либеральные идеи о референдуме по вопросу об атомной энергии мало чем отличаются от идеи «картофельного референдума», и в новых условиях они столь же несвоевременны и опасны, а их инициаторы — преступно недалекосмысленны.

Энергия — это очень серьезно: ее нехватка сродни недостатку воды или лекарств для тяжело больного, когда мы готовы платить любые деньги, чтобы необходимое лекарство добыть. Овладение энергией ядра — самое великое деяние человека за всю его историю. Невозможно отрешиться от чувства изумления при виде огромных сооружений атомных станций, в которых извлекают энергию из невидимых глазу ядер. Однако гипноз этого величия препятствует пониманию того, что на самом деле сегодня завершился только период ученичества: практически доказано, что энергию из ядра можно извлекать. Но пока не создан безопасный и экономичный быстрый реактор и соответствующий ему замкнутый топливный цикл, ядерная энергетика не имеет длительных перспектив. За прошедшие столетия мы действительно много узнали и еще больше сделали. Главная задача еще не решена, и она сложнее (и много важнее), чем создание атомного оружия. Для ее решения потребуются не только личности масштаба Ферми и Курчатова, но и политическая воля государств, которые мыслят не только категориями прибыли, но и благом граждан в исторической перспективе. И если человечество справится с этой задачей, закончится его предыстория и начнется новая история, свободная от ежедневной борьбы за источники энергии. ■

## Литература

1. Вернадский В.И. Очерки и речи. Вып. I. Пг., 1922.
2. Филин К. Энергетический отчет // Известия, 17 июня 2010 г.
3. Иванов К.П. Энергетические проблемы жизни // Вестник РАН. 2010. Т.80. №8.
4. 2010 Key World Energy Statistics // OECD/NEA. 2010 ([www.iea.org](http://www.iea.org)); International Energy Outlook 2010, DOE/EIA-0484(2010).
5. Мировые демографические тенденции: Доклад комиссии по народонаселению ООН. 2009 (<http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N09/210/54/PDF/N0921054.pdf>).
6. Физические величины / Ред. И.С.Григорьев, Е.З.Мейлихов. М., 1991.
7. OECD/NEA&IAEA, Uranium 2009, Production and Demand; WNA, Supply of Uranium, 2010 (<http://www.world-nuclear.org/info/inf75.html>).
8. Energy, electricity and nuclear power estimates for the Period up to 2050. IAEA, Vienna, 2010.
9. Technology roadmap. Solar photovoltaic energy. IEA, France, 2010 ([www.iea.org](http://www.iea.org)).
10. Абрамова В.Н., Абрамов А.И. А нужна ли нам ядерная энергетика? М., 1992.
11. Чернобыль: истинные масштабы аварии: Совместный пресс-релиз ВОЗ/МАГАТЭ/ ПР ООН (<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2005/pr38/ru.html>).
12. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века. М., 2000 (<http://reactors.ru/pub/strat/strategy.html>); Белая книга атомной энергетики. М., 2001.
13. Ферми Э. Научные труды Т. II. М., 1972.
14. Spent fuel reprocessing options. IAEA-TECDOC-1587. Vienna, 2008.
15. Обзор ядерных технологий-2010. Доклад генерального директора МАГАТЭ // <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html>
16. Петров Ю.В. // Атомная энергия. 1987. Т.63. №333.
17. Towards an alternative nuclear future; ThorEA Association ([www.thorEA.org](http://www.thorEA.org)).

## Фредерик Содди об атомной энергии

Мы действительно переживаем замечательный момент. Первым шагом на длинном пути от варварства к цивилизации, пройденным человеком, было, по-видимому, искусство добывать огонь... Нетрудно себе представить, как он впервые, благодаря естественным пожарам, познал огонь и его свойства. Открытый нами недавно внутренний запас энергии в атомах ставит нас в то же положение, в котором первобытный человек находился по отношению к стихийной силе огня: мы знаем о существовании этого внутреннего запаса только благодаря естественным проявлениям радиоактивности...

Дикий человек, который не знал земледелия и не умел добывать огня, погибал от голода и холода, если он не уподоблялся хищному зверю и не пожирал других зверей. Хотя запасы тепла и пищи существовали везде вокруг него и в силу естественных процессов должны были быть ему известны, тем не менее он не умел воспользоваться ими для своих целей. Теперь — нечто подобное. Вся наша цивилизованная раса и теперь еще живет в борьбе за ограниченный запас энергии, тогда как кругом находятся ее неисчерпаемые запасы, способные подержать нашу жизнь...

Жизнь зависит, конечно, столько же от постоянного притока вещества, как и от постоянного притока энергии... Одно и то же вещество, одни и те же химические элементы служат неизменно для бесчисленных циклов жизни, но для них необходим непрерывный приток свежего запаса энергии... Одно и то же количество энергии в одних и тех же условиях работает только один раз. Борьба за существование в основе своей и есть непрерывная борьба за свежий запас физической энергии...

Не надо особого полета фантазии, чтобы в энергии видеть источник физической жизни Вселенной, а ключ к первоисточникам энергии, как мы в настоящее время знаем, дает превращение элементов...

Благодаря завоеваниям экспериментальной науки в области радиоактивности наследство человека увеличилось, его стремления возвысились, и судьба его в некоторых отношениях настолько облагородилась, что мы в настоящее время не можем даже этого вполне оценить. Истинное благополучие мира лежит в его энергии, и благодаря открытию радиоактивности в первый раз стало ясно,

что тяжелая борьба за существование и за остатки энергии, за счет которой развился род человеческий, не есть уже больше единственно возможный и неизбежный его удел.

Законно стало стремление человека верить в то, что настанет некогда день, когда он получит возможность овладеть для своих целей первоисточниками энергии, которые природа так ревниво охраняет для будущего. До осуществления этой надежды, без сомнения, очень далеко, но самая возможность ее изменяет отношение человека к окружающему и придает высший смысл существованию.

Interpretation of Radium, London, 1909  
(Радий и его разгадка, Одесса, 1910)

Страх израсходовать запас пищи врожден нам; страх израсходовать запас топлива человек еще

должен развить в себе... Прежние эпохи получили название от некоего материала: был век каменный, бронзовый, железный. Но ни один из них не состоялся бы, если бы человек не знал огня. Истинное богатство мира — его энергия. Именно признание энергии особой сущностью отличает нынешний век от веков минувших...

Век, в который мы живем, век каменного угля, черпает свою жизненную влагу из мелющей лужи, оставшейся между приливом и отливом великой космической волны... Шумный прогресс последнего столетия, открывающего повсюду

девственные территории и совершенно не думающего о сохранении естественных источников, сменяется периодом раздумья: цивилизации приходится подумать о грядущем расходе со своим кредитором. Цивилизация, как она сейчас существует, даже с физической точки зрения не представляет собой непрерывного самоподдерживающегося движения... Она становится возможной лишь после многовекового накопления энергии...

Рано или поздно — но, разумеется, не в бесконечно отдаленном будущем — на Земле для пополнения естественного расходования энергии не останется ничего, кроме первоначальных запасов атомной энергии...

Matter and Energy, London, 1912  
(Материя и энергия, М. 1913)



Фредерик Содди (1877—1956).

Среди открывателей и первых исследователей радиоактивности Содди — единственный, кто дожил до кошмара Хиросимы и дождался пуска первой атомной электростанции. На склоне лет он написал еще одну книгу — «История атомной энергии», в которой подвел итоги полувековой и поистине фантастической истории приручения человеком атомного огня.



# Мексиканский соляно-нефтяной реактор



Ж.Эффель

Г.А.Беленицкая

## Авария Deerpwater Horizon

*Природа? Чем она ни будь,  
Но черт ее соавтор,  
вот в чем суть.*

И.В.Гете. Фауст

Крупнейшая за всю историю нефтедобычи авария на платформе глубоководного бурения Deerpwater Horizon привлекла внимание всего мира к Мексиканскому заливу, сделав его на многие месяцы самым обсуждаемым регионом и центром всеобщей озабоченности. По своим масштабам эта авария побила предыдущий рекорд нефтяных катастроф, принадлежавший Мексиканскому же заливу (табл.1, рис.1).

Мексиканский нефтегазовый бассейн выделяется среди других бассейнов мира как гигантскими размерами, так и многими важнейшими показателями — геологическими, нефтегазовыми, флюидодинамическими. Однако при этом он отражает типичные черты крупнейших бассейнов и может служить модельным и эталонным объектом. К тому же здесь фокусируются главные контрастные тенденции современного развития нефтегазовой геологии и нефтедобычи. С одной стороны — стремительное освоение все бо-



**Галина Александровна Беленицкая**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник отдела литогеодинимики и минерации осадочных бассейнов Всероссийского научно-исследовательского геологического института им.А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ). Основная область научных интересов — флюидно-осадочные процессы и их роль в формировании осадочных пород и руд.

лее глубоких и глубоководных областей, обязанное колоссальным достижениям науки и техники, рост успешности бурения и количества гигантов среди открытых месторождений, т.е. все то, что возбуждает надежды и аппетиты. С другой — столь же стремительный, а порой и опережающий рост сложностей и, главное, угроз со стороны потревоженных недр, все чаще выходящих из-под контроля. Именно в Мексиканском бассейне установлены рекорды почти всех показателей нефтяного бурения — победные и «провальные»: общей глубины и глубоководности, продуктивности и аварийности. Авария Deerpwater Horizon чрезвычайно ярко продемонстрировала одновременно и высочайшие достижения человека, и превышение им пределов дозволенности при вторжении в земное неведомое, и неготовность к ликвидации экологических последствий. И еще: эта авария максимально проявила нашу глобальную взаимозависимость, хрупкость нашего кажущегося стабильным комфортного существования (зависящего в конечном счете от исправности любого вентиля или превентера) и иллюзорность безопасности столь интенсивного и бесконтрольного использования недр.

Я попыталась с позиций геолога оценить наиболее характерные для данного региона показатели, которые могут влиять на аварийность скважин, особенно глубоководных. Были использованы

© Беленицкая Г.А., 2011

Таблица 1

**Крупнейшие техногенные разливы нефти (обобщение по опубликованным работам и материалам Интернета)**

Авария	Год	Место	Вытекло, тыс. т
<b>Акватории</b>			
<i>Аварии скважин на нефтяных платформах</i>			
месторождение Экофиск, одна скважина (8 сут)	1977	Северное море, Норвежский сектор	120
месторождение Ихтос-1, оценочная скважина (10 мес)	1979	юго-запад Мексиканского залива, шельф	400–460
Deepwater Horizon	2010	северо-восток Мексиканского залива, штат Луизиана, континентальный склон	600–780
<i>Аварии танкеров</i>			
Torrey Canyon	1967	архипелаг Сцилли (Силли), Англия	119
Urquiola	1976	Ла Коруна, Испания	100
Amoco Cadiz	1978	вблизи Бретани, Франция	223
Atlantic Empress и Aegean Captain (столкновение)	1979	Карибское море	290
Castillo de Bellver	1983	Индийский океан, 100 км от Кейптауна	252
Odyssey	1988	700 миль от провинции Нова Скотия, Восточная Канада	132
ABT Summer	1991	700 миль от Анголы	260
Haven	1991	Генуя, Италия	144
<b>Суша</b>			
<i>Аварии скважин (фонтаны, пожары)</i>			
Сан-Диего-39 (Дос-Бокас)	1908	Галф-Кост, Мексика, провинция Фаха-де-Оро, прибрежная суша	~1500
Потреро-дель-Льяно-4	1909	—	~14000
Касиано-7	1910	—	~2600
фонтанирующая скважина Lakeview, месторождение Мидвей-Сансет (Midway-Sunset), Калифорния, США	1910–1911	Калифорния, США	~1300?
месторождение Минбулак	1992	Ферганская долина, Узбекистан	~300
<i>Аварии на трубопроводах</i>			
нефтепровод Харьяга-Уса	1994	Усинский р-н, Тимано-Печорская провинция, Республика Коми	100?
<b>Акватории и суша</b>			
война, открыты задвижки нефтяных терминалов	1990	Персидский залив, Кувейт	1500

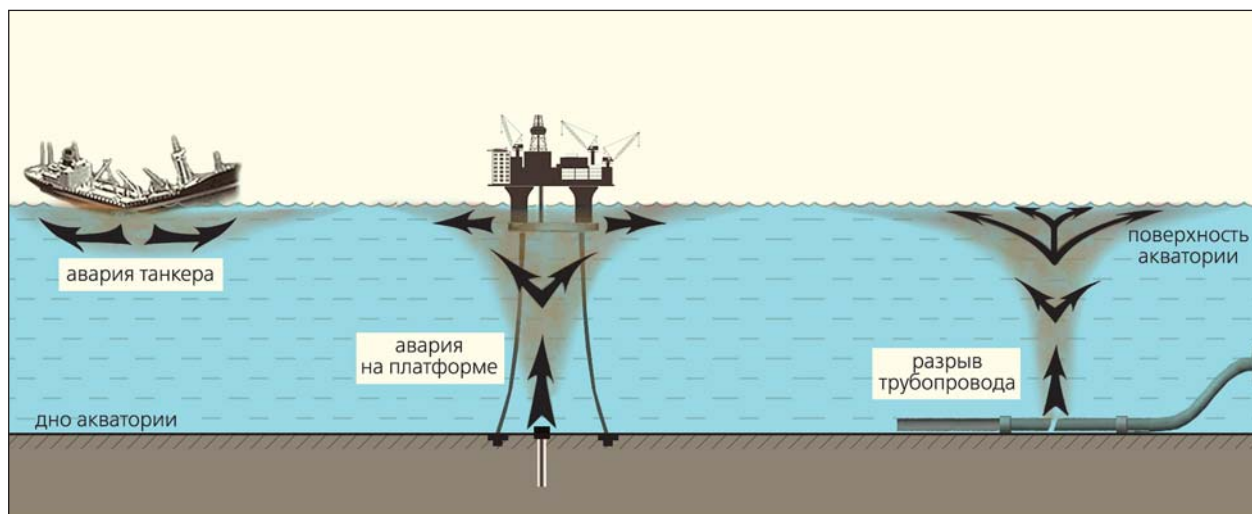


Рис.1. Основные типы залповых аварийных разливов нефти.



мои собственные обобщения по рассматриваемым проблемам, а также результаты анализа многочисленных отечественных и зарубежных публикаций и данных Интернета.

## Геологические, нефтегазовые и флюидодинамические особенности

*Объемы флюидов, прорывающихся под высоким давлением сквозь нефтепроводящие толщи... измеряются астрономическими цифрами.*

К.А.Аникиев

Мексиканский осадочный и отвечающий ему нефтегазоносный бассейн представляет собой гигантское осадочно-породное тело, своеобразный наполненный до краев котлован диаметром 1.5–2 тыс. км и глубиной до 15 км. Его борта и дно (фундамент) сложены дислоцированными и в разной мере метаморфизованными образованиями, а выполнение — слоистыми комплексами осадочных пород и многочисленными рвущими их солянокупольными телами. Все эти образования неравномерно (от нескольких процентов до 20–30%) пропитаны подземными водами, преимущественно рассольными, и содержат множество скоплений свободных углеводородов — главную притягательную силу региона. Большая внутренняя часть бассейна погружена под акваторию Мексиканского залива, включающую шельф, континентальный

склон и сравнительно плоскую центральную абиссальную равнину глубиной 3–4 км (рис.2, 3).

Заложение котловины Мексиканского бассейна связано с распадом в поздне триасово-юрское время возникшего незадолго до этого (в конце палеозоя) глобального суперматерика Пангеи. Ее заполнение осадками протекало на фоне рифтогенеза, переходящего в спрединг, формирования малого океанического бассейна и последующего интенсивного прогибания преимущественно в пассивноокаинном режиме. В итоге возникла крупнейшая депрессионная геологическая структура. Одна из ее ключевых особенностей — наличие в центральной части базальтового окна (разрыва в подстилающей континентальной коре) — присуща лишь ограниченному числу осадочных бассейнов, всегда — самым крупным. Непосредственно над таким окном мощности осадочных пород резко сокращаются, глубины же акваторий, наоборот, возрастают, образуя уступы, обрамляющие наиболее глубокую центральную равнину.

Наиболее значимые черты осадочного выполнения Мексиканского бассейна — огромные общие мощности, достигающие 10–15 км (величин, для осадочных бассейнов максимальных), и присутствие в разрезе трех также мощнейших (тысячи метров), но по составу различных мегакомплексов: соляного, карбонатного и терригенного [1–5]. Соли, основная составляющая нижнего ме-

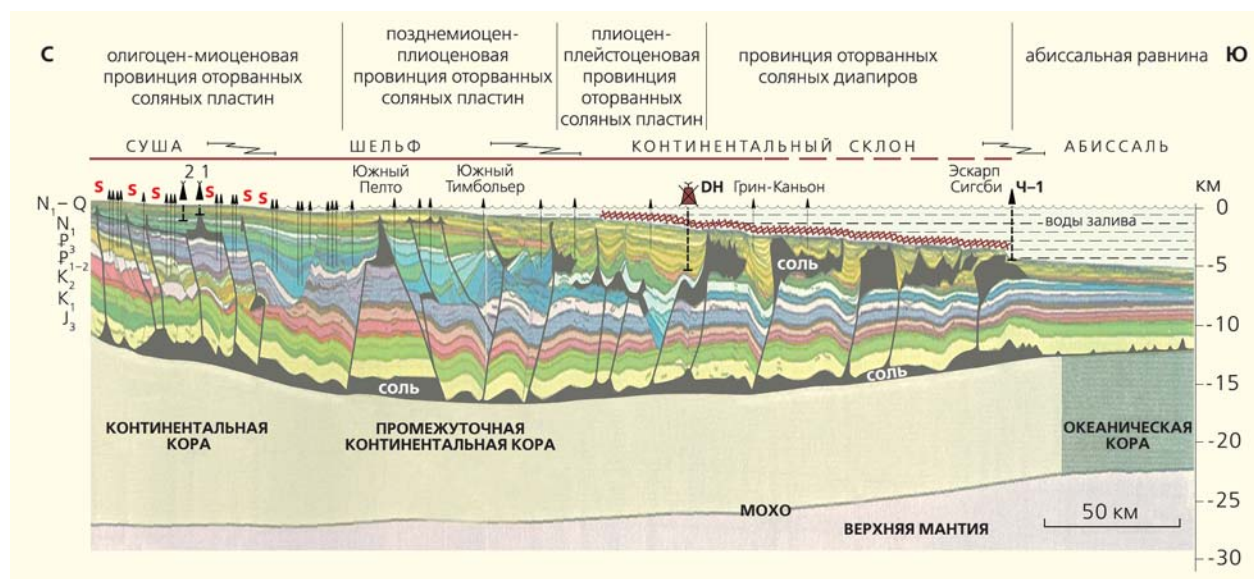


Рис.2. Субмеридиональный профиль через северную часть акватории Мексиканского залива (от Луизианы до впадины Сигсби). Черное — соли: в основании осадочного разреза — юрские Лоанн, в верхней части в составе неоген-четвертичных отложений — аллохтонные соляные покровы. Утолщенная линия над профилем — область установленной нефтегазоносности (сплошная линия — подтвержденной бурением). Штриховка над дном Мексиканского залива — область современного развития восходящих разгрузок нефтей, газов, рассолов и др. Вертикальные тонкие линии — скважины; пунктирные утолщенные линии — ориентировочные проекции на профиль скважин: DH — аварийной Deepwater Horizon (2010 г.), Ч-1 — Челленджер-1 (1968). Возрастные индексы указаны слева, стратиграфическая закрашка отвечает оригиналу (отличается от общепринятой). Модифицировано по [9], с небольшими дополнениями.

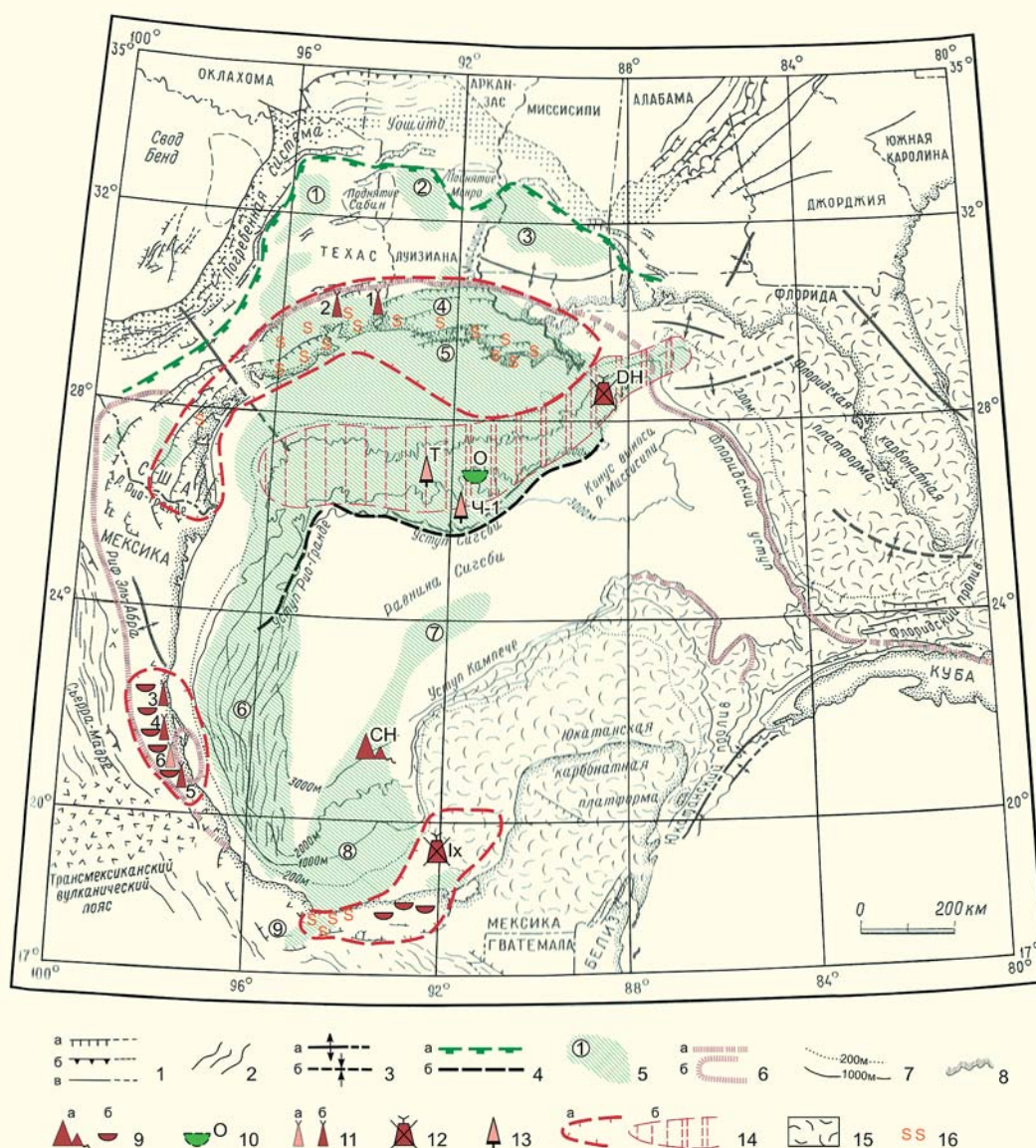


Рис.3. Схематическая карта Мексиканского нефтегазоносного бассейна (основа по [1], с дополнениями). 1 — тектонические нарушения (пунктиром показаны предполагаемые): а — сбросы, б — надвиги, в — прочие; 2 — антиклинали; 3 — оси сводов (а) и прогибов (б); 4 — границы солянокупольных территорий: а — северная граница провинции, б — южная граница распространения соляных покровов континентального склона; 5 — области развития солянокупольных структур; 6 — нижнемеловые рифы: а — барьерный (край нижнемелового шельфа), б — атолл Голд Лейк; 7 — изобаты; 8 — береговая линия; 9 — асфальтовые глубоководные вулканы Чапотте (СН), залива Кампече (а) и прибрежные озера Мексики (б); 10 — глубоководное рассольное озеро Орка (О); 11 — фонтанирующие аварийные скважины на суше: а — с рекордными дебитами, б — то же с рекордными общими изливами [2]: 1 — Спидлтон, 2 — Хамбл, 3 — Бос-Бокас, 4 — Касиано, 5 — Петреро-дель-Льяно, 6 — Серо-Асуль; 12 — крупнейшие аварии платформ глубоководного бурения (DH — Deep Horizon, IX — Ixtoc); 13 — морские скважины с рекордными показателями (Т — Тибр, самая глубокая в мире продуктивная скважина; Ч-1 — Челленджер-1, пробуренная в 1968 г. на рекордной глубине моря 3585 м); 14 — нефтегазные территории в акватории и на побережье Мексиканского залива: а — с установленной нефтегазонасыщенностью на побережье и шельфе, б — с установленными и высокоперспективными залежами на континентальном склоне (двойные линии — то же, с широким распространением восходящих разгрузок УВ, рассолов и др., см. рис.5); 15 — карбонатные платформы; 16 — месторождения самородной серы в кепроках соляных куполов (на севере Техас-Луизианская провинция, на юге — Теуантепекская). Цифры в кружках — соленосные бассейны: 1 — Восточно-Техасский, 2 — Северо-Луизианский, 3 — Миссисипский, 4 — побережья Мексиканского залива, 5 — Прибрежный, 6 — Мексиканский, 7 — Сигсби, 8 — Кампече, 9 — Теуантепекский.



гакомплекса, доминируют во всем разрезе. Возникнув на ранней рифтовой стадии формирования бассейна, они ныне на своем законном месте, в нижних частях разреза, сохраняются лишь ограниченно. Значительная же их часть находится либо в соляных куполах, протыкающих вышележащие слоистые толщи, либо в расслаивающих эти толщи соляных покровах. Особенности залегания солей и их перемещений чрезвычайно важны и для распределения углеводородов, и для жизни бассейна в целом (мы вернемся к этому вопросу чуть ниже).

В среднем карбонатном мегакомплексе барьерные рифы и атоллы составляют основу так называемой карбонатной платформы — одной из крупнейших в мире. Ее кольцеобразное, не замкнутое лишь на юго-востоке тело имеет гигантские размеры (протяженность — почти 5 тыс. км, ширина — несколько сотен километров, мощность — до 2 км) и содержит лучшие коллекторы и ловушки углеводородов.

Третий, верхний мегакомплекс, существенно терригенный, сложенный песчано-глинистыми отложениями дельт и подводных конусов выноса (в том числе р. Миссисипи — также из числа крупнейших в мире), богат одновременно и прекрасными коллекторами, и ловушками, и глинистыми крышками. Именно благодаря глинистым толщам здесь широко развиты глиняные диапиры и грязевые вулканы. Еще одна важнейшая для нефтегазоносности составляющая разреза — черносланцевые (содержащие более 5% углеродистого вещества) комплексы. Они распространены на разных стратиграфических уровнях (максимально — в оксфордских, титонских, туронских и эоценовых отложениях).

Высокая нефтегазовая продуктивность тысяч нефтегазовых залежей (в том числе крупнейших) характеризует весь надсолевой разрез вплоть до плейстоценовых отложений. В становлении нефтегазоносности Мексиканского бассейна определяющую роль играли и продолжают играть литологические и тектонические особенности его геологического строения. Литолого-формационные мегакомплексы обеспечивают углеводороды прекрасными многоуровневыми резервуарами и крышками, благоприятствуя в то же время их интенсивной восходящей миграции. Системы солянокупольных образований контролируют крупные зоны нефтегазонакопления, а отдельные соляные поднятия, покровы, диапиры — многочисленные залежи. Базальтовое окно, ограниченное рифтогенными системами, обеспечивает устойчивое интенсивное прогибание дна бассейна, его повышенную открытость и проницаемость для энергетических и флюидных потоков, восходящих из подстилающего субстрата. Повышенная тектоническая активность западного и южного обрамлений с преобладанием напряжений сжатия усиливает общую напряженность и сейсмостекто-

ническую активность. Свидетельствами высокой энергетической напряженности недр служат и значительные величины пластовых давлений (часто аномально и сверхвысокие), градиентность этих значений в пространстве и пульсационность во времени, а также обилие сверхпродуктивных фонтанирующих скважин [2, 5, 6]. Показательно, что эти особенности характеризуют весь разрез, от максимальных достигнутых глубин до самых молодых плиоценовых и даже плейстоценовых осадков, залегающих недалеко от поверхности дна.

Недра бассейна, пронизанные восходящими напорными потоками, струями, субвертикальными системами расположенных друг над другом скоплений углеводородов и других подвижных масс (жидких, газообразных, разжиженных и пластичных), подобны своеобразному гигантскому закипающему реактору. Механизм его «периодических квантовых прорывов... связан с колебательными современными тектоническими подвижками» [6. С.90]. Именно через их восходящую динамику «человек ощущает современную жизнь недр» [6. С.104].

## Соляные недра Мексиканского бассейна



Ж.Эффель

*Благодаря своим особым физическим свойствам,  
соль вовлечена в вечный круговорот...  
Она никогда не достигает конечного состояния  
покоя...*

Ф.Трусхейм

Соляные массы, заключенные в недрах Мексиканского бассейна, играют исключительную роль в их жизни, действительно являясь их «солью».

Мексиканский соленосный бассейн вместе со Средиземноморским и Прикаспийским образуют тройку мировых супергигантов, вмещающих каждый до 1.0—2.5 млн км<sup>3</sup> солей (т.е. свыше 3—4 тыс. трлн т). Он представляет уникальное скопление соляных масс, занимающих огромные (около 1.5 млн км<sup>2</sup>) площади в пределах большей части акватории (включая многие ее глубоководные участки) и обрамляющей суши [7, 8].

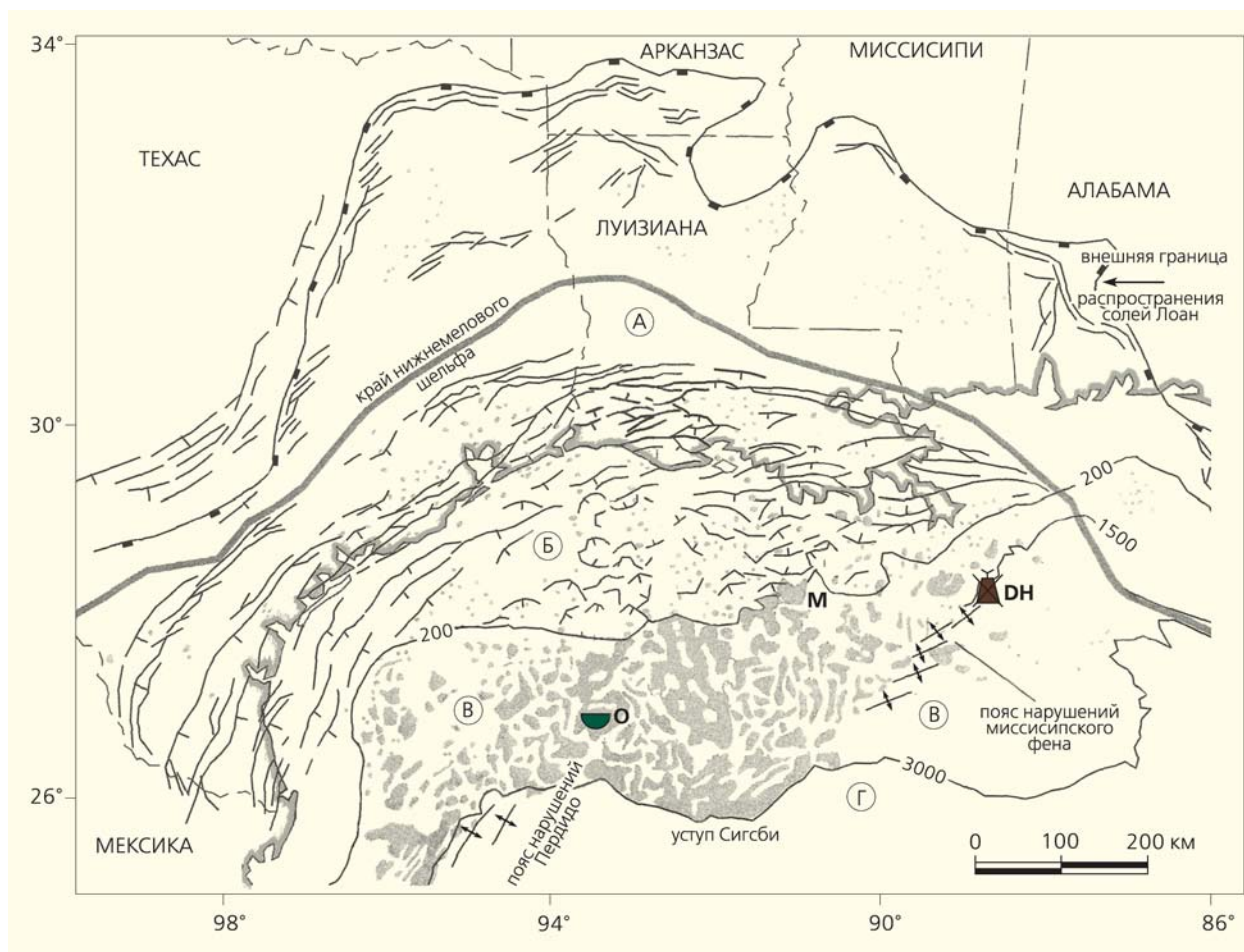


Рис.4. Схема распространения соляных диапиров и покровов (светло-серая заливка) в северной половине бассейна (до глубины 3000 м) Мексиканского залива [9, с дополнениями]. Линия с зубцами — северная граница распространения солей Лоанн ( $T_3?$ — $J_{2-3}$ ); утолщенная линия — нижнемеловой барьерный риф; тонкие линии — разломы и глубоководные складки; линии с цифрами — изобаты; DH — местоположение аварийной скважины платформы Deerpolygon; M — один из наиболее крупных соляных покровов Махогени [10]; O — оз.Орка. Буквы в кружках: А — суша, Б — шельф, В — континентальный склон, Г — абиссаль.

Соли Лоанн поздне триасово(?)—позднеюрского возраста залегают на глубинах от 5—6 км на севере и северо-западе бассейна до 10—12 км в его центральных областях (рис.2, 3). Насчитываются тысячи солянокупольных структур. Сотни из них — очень крупные (рис.4). Например, размеры горизонтального сечения хорошо изученного соляного штока Махогени — 29×14 км. Мощности солей при пластовом залегании составляют 1—1.5 (2.0) км, а в диапирах превышают 10 км.

В Мексиканском бассейне установлены чрезвычайно интересные соляные образования — аллохтонные покровы [9]. В других солянокупольных бассейнах мира они распространены весьма ограниченно, либо просто не опознаны. Соль диапиров достигала дна акваторий и, продолжая интенсивно выдавливаться, растекалась, образуя сначала затеки-языки, а затем — уплощенные тела, залегающие на нормально-осадочных комплексах

(а позже, в свою очередь, перекрытые более молодыми осадками). Поскольку толщина подводящих каналов-диапиров по мере перетекания солей часто сокращается, вплоть до полного пережима, возникшие на новых уровнях перемещенные соляные массы (аллохтонные покровы) не всегда сохраняют видимые связи с материнскими солями.

Активное формирование покровов началось в палеогене, наиболее интенсивно проявилось в миоцене, достигло максимума в позднем миоцене и продолжилось в плио-плейстоцене. Они широко распространены в тех областях шельфа и особенно континентального склона, которые максимально интенсивно прогибались, создавая уклоны, благоприятные для растекания и стекания солей. Многие из покровов осложнены диапирами и разделяющими их глубокими впадинами. Так что соль непрерывно живет — движется, восходит, течет.



Ныне огромное осадочное тело Мексиканского бассейна неравномерно пронизано и расчленено гигантской соляной решеткой, созданной субгоризонтальными образованиями (материнскими в основании разреза и аллохтонными, которые расслаивают вышележащие более молодые отложения) и лесом субвертикальных столбов, башен, гигантских капель, протяженных хребтов, стенок и др. Вертикальные соляные тела прорывают даже самые молодые плейстоценовые осадки, выходят на поверхность и возвышаются над ней, т.е. растут до сих пор.

Совместное нахождение залежей углеводородов и соляных тел отмечается практически во всех нефтегазоносных регионах, где присутствуют соли. Для Мексиканского бассейна такая связь особенно значима, однако ее характер различен при пластовом и купольном нахождении солей. Пластовые тела благодаря минимальной проницаемости соляных масс признаны лучшими покровками нефтегазовых залежей. Эти функции успешно выполняют и аллохтонные покровы, и более мелкие нависающие козырьки диапиров. Субвертикальные же тела, которые осложняют комплексы вмещающих и покрывающих их пород, создают для залежей многочисленные ловушки.

Не менее важен еще один аспект взаимосвязи солей и углеводородов, хорошо известный, но не привлекающий большого внимания. Речь идет о совместной восходящей миграции солей и углеводородов при погружении осадочных толщ и о транспортирующей роли солей в ходе такой миграции. Соль в своем диапировом восхождении — как более плотная субстанция — сильнее разрушает целостность вмещающих слоистых толщ, формируя зоны повышенной проницаемости, куда и устремляются углеводороды. Таким образом, соляные диапиры играют роль таранов и эвакуаторов, способствуя интенсивной восходящей миграции углеводородов (правда, одно-

временно немного и тормозящих их восхождение — создавая на пути следования заторы). Важно, что и сами высоконапорные углеводороды, в свою очередь, изо всех сил подталкивают соли снизу [2, 11].

Подобные миграционные взаимосвязи углеводороды обнаруживают не только с солями, но и с любыми подвижными породами, прежде всего с глинистыми — главными участниками глиняного диапиризма и грязевого вулканизма.

## Живое дно Мексиканского залива

*В глубинах ночных океана...*

*Из черного дна неустанно*

*Крутые восходят дымы.*

А.Городницкий. Вестиментиферы

Динамичность недр и пульсирующая жизнь внутриземных систем на поверхности проявляются в виде всевозможных «выплесков» подвижных компонентов на дно акваторий и окружающие побережья. Разнообразные типы естественных очагов их разгрузки зафиксированы на всех глубинах залива. Участников таких разгрузок по их вещественно-геологическим и миграционным особенностям можно разделить на две группы: флюиды (подземные воды и рассолы, жидкие углеводороды, газы) и текучие породные массы (разжиженные и пластично-текучие). Для каждой группы характерны свои типы очагов и свои особенности динамики (табл.2) [12].

Разные виды очагов разгрузки обычно образуют сочетания — парагенезы, включающие диапиры, осадочные вулканы, восходящие источники газов, нефтей, подземных вод и их смесей. Их локализация в одних и тех же регионах создает разномасштабные сгущения — узлы разгрузки. Мексиканский залив в целом можно рассматривать как огромный суперузел, в котором представлены

**Таблица 2**

**Восходящие холодные (амагматические) разгрузки [12]**

Разгружающийся материал		Характер разгрузки	
Группа	Подгруппа	Объекты разгрузки	Способ разгрузки
Флюиды	газы (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S и др.)	очаги разгрузки: восходящие источники, грифоны, сипы, сипажи, покмарки, высачивания и др., иногда с образованием озер (наземных и подводных)	излияние, истечение, фонтанирование
	жидкие УВ (нефть, конденсат)		
	подземные минеральные воды, рассолы		
Текучие породные массы	флюидизированные (разжиженные) породные массы (УВ-водно-грязевые, УВ-рассольно-соляные)	«осадочные вулканы»: грязевые, УВ-рассольно-соляные, гидро-, газовые, смешанные	извержение (амагматическое) эксплозивное, взрывное, истечение
	пластично-текучие породные массы (глинистые, кремнистые, соляные и др.), участвующие в диапиризме	диапиры глиняные, кремнистые, соляные, гипсовые и др.	диапировое выдавливание, излияние, растекание

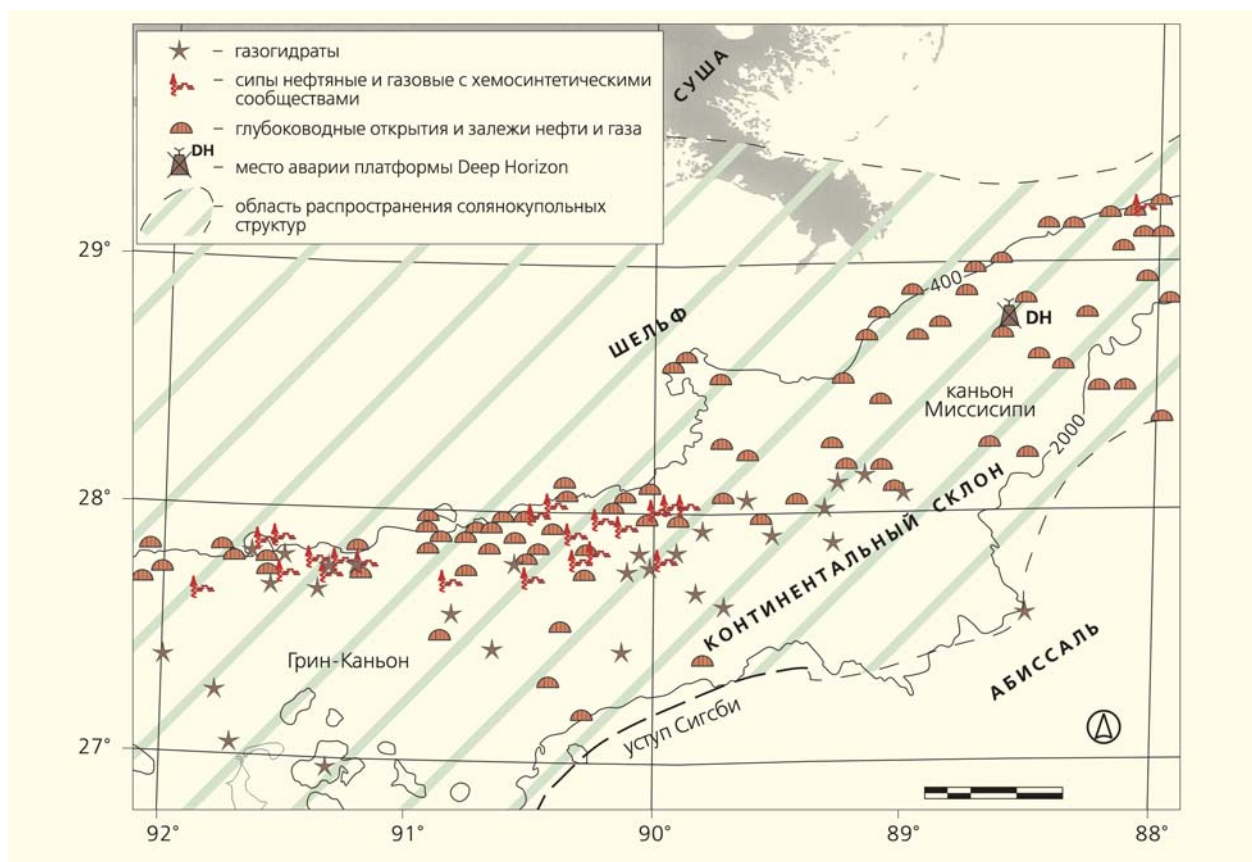


Рис.5. Схема распространения сипов, хемосинтетических сообществ, газогидратов, грязевых вулканов и залежей углеводородов в центральной части континентального склона Мексиканского залива [13, с изменениями].

все типы подводных и наземных выходов на поверхность внутриземных систем: и высокодебитные источники, и озера-разливы (рассольные и нефтяные), и поля газогидратов, и «осадочные вулканы» с грязевыми и уникальными соляными и нефтеасфальтовыми излияниями, и ядра протыкания открытых диапиров. Внутри же этого суперузла прослеживаются многочисленные более локальные сгущения — узлы разгрузки меньших масштабов (рис.5).

Отметим наиболее типичные для Мексиканского региона особенности очагов разгрузки.

Восходящие источники, струи — самые наглядные, выразительные и многочисленные выходы наиболее подвижных компонентов — нефтей, газов, рассолов, их смесей. Если всего 20—30 лет назад они были известны главным образом на суше, то теперь установлены повсеместно и в акваториях, в том числе и в самых глубоких их частях. Так, большое количество сипов, струй, прорывов, выносящих нефть, газ, рассолы, зафиксировано на обширных территориях всего северного континентального склона Мексиканского залива [13]. На них — наряду с насыщающими осадки углеводородами, карбонатными корками и бактериальными матами — обнаружены цве-

тущие сообщества, по разнообразию видового состава весьма близкие описанным на знаменитых высокотемпературных «курильщиках». Над выходами нефти на водной поверхности залива неоднократно отмечались блуждающие нефтяные пятна. С газовыми разгрузками связаны их подповерхностные (поддонные) производные — скопления газогидратов, образующие обширные поля, слои, а также разнообразные поднятия, часто локализованные непосредственно вокруг выходов газовых струй.

Над высокодебитными источниками вод, нефтей и газов нередко возникают напорные озера-разливы. Для них, «принудительно» питаемых снизу, характерны резкие аномалии микрокомпонентного, ионно-солевого и газового состава. Особенно интересны нефтяные и асфальтовые озера, буквально вытекающие из недр. Чрезвычайно богаты ими побережья Мексиканского залива, особенно южное и западное, где их «тысячи, и размеры их подчас очень велики» [2. С.69].

Очень характерны, особенно для подводного конуса выноса р.Миссисипи, грязевые вулканы. Их размеры внушительны — диаметры оснований составляют от нескольких сотен метров до нескольких километров, высота — от десятков до со-

тен метров. Объемы изливающихся при извержениях разжиженных пород, по имеющимся оценкам, огромны: при наземных извержениях — до 10 млрд м<sup>3</sup>, при субаквальных — десятки миллиардов кубометров. Весьма велик и сопряженный с грязевым вулканизмом вынос флюидов через многочисленные сользы и грифоны.

Мощные соляные диапиры выходят на дно залива и прибрежную сушу и даже возвышаются над ними в виде поднятий, холмов и столбов. Особенно впечатляет их вид на мрачных подводных глубинных равнинах [14]. Правда, из-за сравнительно небольших скоростей подъема (по человеческим меркам, по геологическим же — чрезвычайно высоких) они далеко не самые динамичные из восходящих образований. Даже в фазы тектонической активности, когда скорости роста диапиров резко (на несколько порядков) возрастают (см. работы К.А.Аникиева, Р.Р.Рахманова, З.Кукала). В этом отношении более эффектны катастрофические выбросы смесей газов, рапы и дробленой соли. Этот вид взрывных выбросов, главные участники которых (в отличие от грязевых вулканов) — соли и рассолы, по-видимому, впервые был отмечен в солянокупольных структурах на севере Галф-Коста [2, 11]. Пока он еще не получил ни научного статуса, ни наименования. По своим признакам он может быть отнесен к соляному вулканизму (точнее — рассольно-углеводородно-соляному) — разновидности осадочного вулканизма.

Весьма выразительны и глиняные диапиры (особенно в сочетании с надстраивающими их грязевыми вулканами), также широко распространенные на шельфе и континентальном склоне Мексиканского залива.

Говоря о Мексиканском регионе, мы уже не раз использовали слова «впервые» и «крупнейший». И это вполне отвечает действительности. Причем

в большей мере относится к разным видам восходящих образований. Некоторые из них здесь впервые установлены в столь значительных масштабах, другие — впервые прослежены до столь больших глубин, третьи — вообще впервые обнаружены именно здесь. Неслучайно и в научной, и в популярной литературе с ними часто ассоциируют такие определения, как «уникальные», «необычные», «сенсационные», а также различные прилагательные в превосходной степени. Отметим два наиболее интересных из таких подводных образований.

Глубоководное рассольное «озеро» Орка (рис.6). Находясь под более чем двухкилометровой толщей нормальной морской воды, оно содержит мощный (до 220 м) слой высококонцентрированных (~250 г/л) рассолов [15]. Озеро расположено во впадине в северной части континентального склона Мексиканского залива среди соляных диапиров и покровов. Впечатляют и глубины его нахождения, и значительная мощность слоя рассолов, и чрезвычайно большая их площадь (около 123 км<sup>2</sup>). При объеме рассолов около 13.3 км<sup>3</sup> в них заключено до 4 млрд т соли. По многим показателям — и вещественным, и пространственно-морфологическим, и генетическим — оз.Орка весьма сходно с самыми знаменитыми глубоководными рассолоносными котловинами Красного моря (по сути — такими же озерами) и с менее масштабными рассолоносными впадинами в Средиземном море. На суше же такие озера — вещь более обычная. И один из наиболее близких нам примеров — огромное рассольное озеро Баскунчак.

«Асфальтовые вулканы» — еще более экзотическое образование Мексиканского залива [14]. В 2003—2004 гг. в заливе Кампече в области континентального склона на глубинах около 3300 (!)

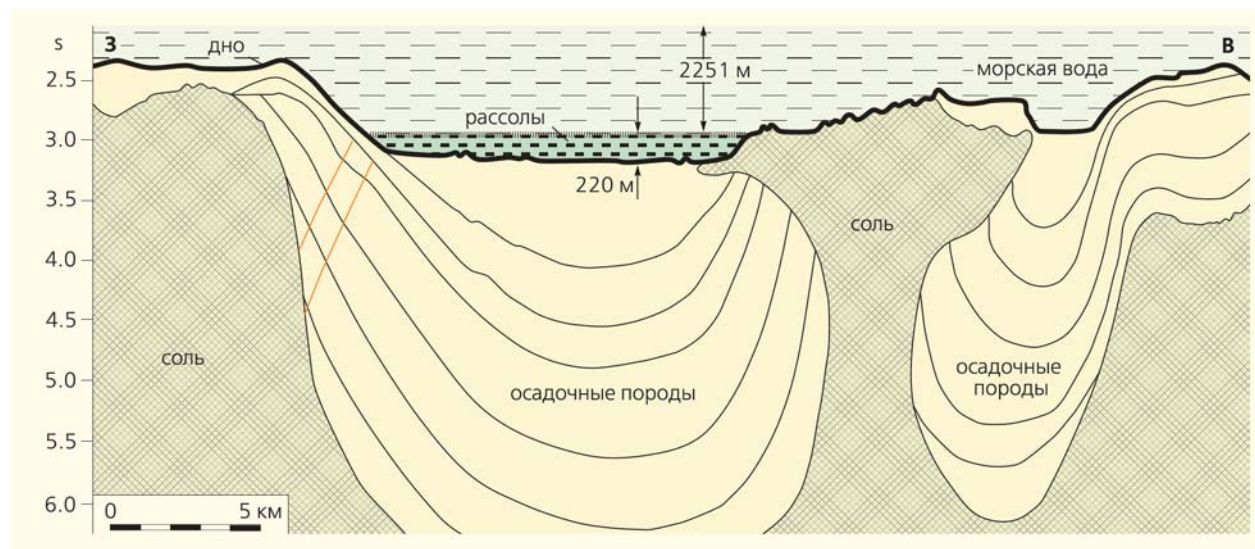


Рис.6. Глубоководное рассольное озеро Орка, сейсмический профиль, Мексиканский залив, континентальный склон [15].



м в зоне развития целой соляной горной системы, состоящей из гигантских подводных соляных холмов, которые поднимаются над морским дном на 450—800 м, были открыты и обследованы нефтеасфальтовые излияния. В центральных частях соляных диапиров подводной фотосъемкой и роботами Quest на площади 5×10 км закартировано более 25 кратеров, извергающих нефть и асфальт, которые и были названы асфальтовыми вулканами (рис.7). Первый из них — Чапопоте (что на языке ацтеков означает «смола»), шириной до 5 км и высотой 400 м. Мощные, напоминающие лаву нефтеасфальтовые потоки образуют целые поля. Их толщина достигает 20 м, площадь покрытых асфальтом участков морского дна — более 1 км<sup>2</sup>. Очередное извержение Чапопоте произошло незадолго до вторичного посещения его учеными, поэтому удалось проследить даже динамику формирования покровов, увидеть, «как текут асфальтовые реки, как они ветвятся, как пласты асфальта наслаиваются друг на друга и как здесь расселяются колонии необычных микроорганизмов, основу жизни которых составляет хемосинтез... Если старые слои асфальта были твердыми и хрупкими, то свежие — вязкими и очень пластичными» [14. С.30]. Над асфальтовыми «вулканами» наблюдаются восходящие потоки и струи углеводородов, на поверхности моря — пятна нефти, а в ареалах вулканов и вблизи них — газогидраты и выходы свободного газа. Все эти образования, вероятнее всего, — продукты миграции углеводородов из скоплений, разрушаемых в подстилающих отложениях, возможно, частично уже превращенных в асфальт. Окрестности вулканов и мощные слои асфальта населены бактериями и сообществами организмов — вестиментифер, крупных двустворчатых моллюсков, крабов, мелких креветок, некоторых видов рыб и беспозвоночных. На нижних склонах застывших потоков к асфальтовым «подушкам» прикрепляются морские лилии и мягкие кораллы. Во многих местах поверхность асфальта покрыта белой бактериальной пленкой. Вулкан Чапопоте, по заключению его исследователей, «это пример того, насколько динамична глубоководная область океана». И еще: «Здесь нет ни одного уголка, где была бы невозможна жизнь. Всякий раз, как только жизнь получает хоть какой-то шанс закрепиться в том или ином месте, она приспособливается к существующим здесь условиям и процветает» [14. С.30].

Надо сказать, что сам факт наличия асфальтовых излияний не уникален, поскольку подводные и наземные выходы нефтей и наземные нефтяные озера довольно многочисленны как в Мексиканском регионе, так и в некоторых других нефтегазоносных бассейнах. Однако столь значительные по масштабу, глубине и динамике излияния — большая редкость. (Очередной подобной сенсацией недавно стала публикация материала об открытии и изучении асфальтовых извержений на



Рис.7. Асфальтовый вулкан Чапопоте [16].

Калифорнийском шельфе в районе Санта-Барбары, в 15—20 км от берега, правда, на меньших глубинах — около 200 м.)

Стоит отметить еще одно косвенное, но чрезвычайно важное свидетельство сравнительно недавних (главным образом в плиоцене) интенсивных углеводородных разгрузок недр Мексиканского бассейна — месторождения самородной серы, в том числе очень крупные, часто встречающиеся в кепроках соляных куполов в пределах северных и южных обрамлений бассейна. Их образование обязано масштабным прорывам углеводородов из глубин в приповерхностные зоны Земли — в область распространения кислородсодержащих вод. Особенно благоприятны для накопления самородной серы углеводороды, обогащенные соединениями серы. А именно они характерны для юрско-нижнемеловых карбонатных комплексов, перекрывающих соли Лоанн [17].

Итак, нет сомнений, что Мексиканский регион, и особенно его дно, — средоточие вырывающихся из недр разнообразных напорных восходящих разгрузок. А если так, то и разгрузки, в свою очередь, могут служить важными поставщиками информации о состоянии недр.

## Авария Deepwater Horizon как геотехногенное явление

*Но тварь в себе скрывала злого духа*

Байрон. Каин

*Душа планеты уж не дремлет,  
Фонтан огня из-под земли подает.*

С.Шилов. Нефть

Буровые скважины — тончайшие зонды, запущенные в глубины Земли, — несут информацию не только о нефтегазовом потенциале, но и о флюидодинамическом состоянии недр. Аварийные скважины сигнализируют о неблагоприятном состоянии и о возможности высоконапорных выбросов и прорывов.



Вообще-то аварийные прорывы из недр происходят не только через скважины, но и через любые зоны возросшей проницаемости, возникающие при активизации сейсмостектонических или иных природных сил. В таких условиях выбросы рвущихся вверх флюидов не только вполне закономерны, но порой и неизбежны, а скважины лишь ускоряют их высвобождение. Показательны случаи, когда после перекрытия аварийных фонтанов нефтяные струи многократно выбивались из трещин, образовавшихся вокруг скважин и даже в стороне от них [2, 6].

Авария Deerwater Horizon имеет множество весьма знаменитых предшественников и в самом Мексиканском заливе, и на его побережье. Наиболее известные, так называемые сверхпродуктивные, «выдающиеся» скважины представляют особый интерес именно «с точки зрения изучения тех подземных сил, которые обуславливают эту высокую продуктивность» [2, 3, 11, 18]. Три — абсолютные мировые рекордсменки с максимальными показателями аварийных дебитов и общих изливов нефти — расположены в Золотом кольце Мексики (как раз в районе многочисленных природных асфальтовых озер, нередко очень крупных): Потреро-дель-Льяно-4 (авария в 1909 г.), Сан-Диего-39 (в 1908 г.) и Серро-Асуль-4 (в 1916 г.). Еще две скважины с крупнейшими аварийными излияниями — Спиндлтон и Хамбл — находятся на северном побережье Галф-Коста (в районе концентрации множества активных диапиров, соляных вулканов и месторождений самородной серы).

Символично и, конечно же, не случайно, что здесь же, в акватории Мексиканского залива, произошли и обе самые масштабные за всю историю нефтедобычи аварии на нефтяных платформах. Сначала в 1979 г. скважина Иксток-1 в заливе Кампече, выбросив 400—460 тыс. т нефти, стала мировой рекордсменкой и 30 лет удерживала свой титул. И вот теперь — новый «победитель» — Deerwater Horizon, пожалуй самая знаменитая на сегодня скважина, заложенная на северо-востоке Мексиканского залива в области континентального склона при глубине вод 1524 м. Она потерпела аварию, достигнув глубины 5596 м с температурой более 200°C и давлением 600 атм. При аварийном дебите нефти около 13—14 тыс. т/сут величина ее общего излива (600—780 тыс. т, по сути — целое небольшое месторождение) стала новым мировым рекордом (табл.1). Концентрация такого количества мировых аварийных рекордов в Мексиканском регионе в большой мере определяется высокой активностью этого соляно-нефтяного реактора. Еще раз подтверждается зависимость аварийности скважин от современной флюидодинамики разбуриваемых недр.

Для человека скважины — всего лишь им же пробуренные отверстия, над которыми он — естественный хозяин («я тебя породил...»). Ну а для

недр — своего рода микроотдушины, неважно кем и зачем проделанные, за власть над которыми стоит побороться. Контроль над клапанами осуществляет не только человек, но и сами недра. А задачи у них — полярные. У недр — выбить любые задвижки, превенторы и высвободить, излить все, что накопилось, прорваться наверх, выплеснув куда придется. У человека же — удержать контроль и над клапанами, и над всем, что изливается. Авария — победа земных глубин, озаменованная свободно бьющим нефтяным фонтаном. Так что не стоит забывать, что аварийное фонтанирование — явление, пусть и инициированное человеком, но предопределенное и поддерживаемое силами природы, т.е. явление смешанное — геотехногенное. Именно так следует рассматривать изливающиеся аварийные скважины. Авария Deerwater Horizon несомненно принадлежит к их числу. Естественно, что явления геотехногенной природы требуют и соответствующих подходов. Они зависят не только от человеческого фактора, но и от природного, в частности от любых перепадов «настроения» недр, при которых человеку просто не удастся сдержать их возросший напор.

С таких позиций можно, даже не сильно фантазируя, увидеть зависимости между разными явлениями и параметрами, связанными с активностью земных глубин. С одной стороны, солнечная активность, общая напряженность недр Земли и ее региональные проявления. А с другой — геотехногенные аварии. Так, те или иные признаки роста сейсмостектонической активности, флюидодинамической напряженности и неравновесности недр Мексиканского бассейна и прорывы клапанов на скважинах выступают как звенья в череде природных событий. Они даже могут быть использованы для взаимного прогноза.

## Глобальные центры надежд и угроз

*Сила нефти: в грядущем бреду...  
Если фонтан забьет, бушует...*

В.В.Маяковский. Баку

*Нефть... Сотни лет, без счета поколений,  
Она была предметом вождлений,  
Убийств и войн...*

Л.Ошанин. Нефть

Все месяцы отчаянной борьбы с аварией Deerwater Horizon прессу наполняли броские заголовки: «Осторожно: недра!», «Черный океан», «Опасное каменное масло Земли», «Выпущенные джины. Можно ли загнать духа назад?», «Человек или недра?», «Не трогай недра!» — и многие-многие другие. И даже — «Геологический апокалипсис». К сожалению, большинство из них, хотя бы частично, справедливы.

Казалось бы, авария Deerwater Horizon чрезвычайно внятно заявила, что недра — это дейст-

вительно очень и очень серьезно. Тем не менее никто не сомневается, что и в будущем ситуация вряд ли принципиально изменится. Причина очевидна: «Фирмы должны богатеть... трогая маленький краник» (А.Паршин. Нефть). Вера человека в наличие нефти в глубинах недр и растущее умение достигать этих глубин (пусть с риском!) гарантируют, что добровольно остановиться на этом пути вряд ли возможно.

Пока же количество платформ глубоководного бурения измеряется тысячами, а глубины морских скважин достигли неслыханных цифр, превысив 10(!) км. Естественно, не стоит на месте и число аварий, правда, информацию о них по возможности придерживают.

Очевидно, в ближайшем будущем объектами внимания останутся нефтегазоносные бассейны с уже установленными гигантскими скоплениями и ожидаемыми еще более крупными, причем во все более глубоких и глубоководных областях. В их числе и Мексиканский бассейн. Здесь, в глубоководной части залива, на больших (свыше 800—1000 м) глубинах открыты сотни месторождений, а на сверхглубинах (от 1600 до 3000 м) — десятки. По злой иронии (недр?) практически накануне аварии Deerwater Horizon крупнейший добытчик нефти в Мексиканском заливе — British Petroleum — сделал сенсационное заявление о новых высочайших мировых достижениях: пробурена самая глубокая (10 685 м) морская нефтяная скважина Тибр и открыто одно из самых крупных (около 500 млн т) современных морских месторождений нефти. Скважина расположена западнее Deerwater Horizon при глубине моря 1259 м (рис.3).

К наиболее перспективным и интенсивно развивающимся нефтегазоносным бассейнам, которые часто локализируются вокруг крупных и активно прогибающихся акваторий, относятся: Венесуэльский, Южно-Каспийский, Керченско-Черноморский, Североморский, Персидского залива, Средиземноморско-Североафриканский, Гвинейский, Охотско-Сахалинский, Калифорнийский и др. Их сближает сходство флюидодинамических особенностей, в целом подобных Мексиканскому бассейну: высокая и сверхвысокая пластовая энергия, высоконапорная нефтегазоносность, растущие с глубиной температура и давление, активность и мобильность углеводородных и других подвижных систем, часто масштабная соленость. Именно эти показатели (причем одни и те же) делают такие бассейны одновременно и максимально перспективными для поисковых работ и добычи нефти и максимально опасными.

Нет сомнения, что в ближайшие годы главной тенденцией станет смещение бурения в области с все более агрессивной нефтью. Уже и сегодня силы нефтяной индустрии нацелены именно на их освоение. И хотя благодаря этому появляются новые технологии и бурения, и предотвращения аварий, система становится все менее устойчивой

и предсказуемой. Сбои неминуемы, как из-за природных факторов, так и из-за человеческих (будь то маленький краник или простая оплошность). Замкнутый круг: бурим там, где максимум перспектив, а максимум перспектив именно там, где одновременно и максимум угроз. Предсказуем и итог: катастрофы, вызванные взрывными разгрузками нефтяных геологических реакторов в ответ на буровые проколы, — неизбежны.

## О ликвидации экологических последствий

*Мудр только тот, кому давала уроки природа.*

Пиндар

*Микроорганизмы...*

*наверняка бы назвали себя центром живого мира...*

*Микроорганизмы могут все...*

*Известен случай, когда было съедено асфальтовое шоссе.*

В.П.Трибис. Слово о болотах

В борьбе с нефтяными авариями главные силы в настоящее время брошены на совершенствование методов прекращения уже происходящих неконтролируемых изливов, остановки нефтяных фонтанов, обуздания и усыпления разбуженных недр и сокращения количества разлитой нефти. И здесь, несмотря на многочисленные сбои, успехи научной и технической мысли несомненны и весьма впечатляющи. Несопоставимо меньше, судя и по публикациям, и по видимым итогам, исследуются столь же важные проблемы очистки — прежде всего ликвидация нанесенного вылитой нефтью катастрофического экологического вреда. Похоже, что ее глубокое изучение вовсе не ставится в число первоочередных задач. Остановимся на проблеме очистки чуть подробнее.

У природы есть весьма надежный и по сути универсальный инструмент самоохраны и самозащиты от различных воздействий, в том числе от последствий нефтяных аварий. Этот инструмент раскрыт микробиологами и назван бактериальным фильтром. Ученые убеждены: «Микробное окисление углеводородов — один из ведущих процессов, способствующих элиминации нефти из морской среды» [19. С.150]. Бактериальная трансформация нефтяных углеводородов (УВ) как составная часть самоочищения акваторий от нефти рассмотрена во многих работах, установлены ее главные участники, изучены факторы, влияющие на скорость и полноту процессов. Грамотное использование таких исследований безусловно способно содействовать эффективному управлению экологическим состоянием среды.

Систематический анализ разнообразных сведений, касающихся судьбы разлитой нефти и продуктов ее распада, с позиций седиментолога был

представлен читателям «Природы» практически накануне аварии Deerpwater Horizon [20]. Мы рассмотрели важнейшие последствия, возникшие при воздействии нефтепродуктов на бассейновые экосистемы, а также вероятные их проявления в осадках. Анализ показал, что аварийные разливы могут рассматриваться как аналоги естественных очагов разгрузки углеводородов с обширными ореолами, образованными продуктами физико-химического распада нефти. Растекающимся и мигрирующим ореолам отвечают аномальные нафтогенные биоценозы и захоронения (по Н.Заболоцкому, «государство смертей и рождения»). В них сочетаются массовая гибель доаварийных нормально-бассейновых сообществ и взрывы продуктивности микробных биоценозов, основой пищевых цепей которых служат активные потребители углеводородов — нафтофильные УВ-окисляющие бактерии.

Оперативная массовая мобилизация микроорганизмов-нафтофилов, утилизирующих (поедающих) нефть и ее производные, и их высочайшая продуктивность — вот основа способа очистки, неизменно используемого самой природой. Именно благодаря таким микроорганизмам на современных естественных источниках углеводородов почти мгновенно возникают цветущие оазисы нафтогенных сообществ. Как свидетельствуют литологические и микропалеонтологические наблюдения, тот же способ и столь же эффективно природа реализовывала в прошлом, в многочисленные периоды масштабных нефтяных разгрузок, сопровождавших массовые разрушения УВ-скоплений в ходе тектонических перестроек. Исследователи, имеющие дело с экологическими и седиментационными следствиями природных нефтяных разливов (непосредственно наблюдаемыми ныне и восстанавливаемыми для геологического прошлого по палеозаписям в осадочных разрезах) приходят к единодушному выводу, что у природы бактериальный инструмент борьбы с последствиями нефтяных разливов всегда был основным, а роль микроорганизмов в их ликвидации — ведущей. Похоже, что во все времена микробные сообщества были главными лекарствами природы.

Очень важно при этом, что микроорганизмы по сути вездесущи. В небольших количествах и в неактивном состоянии они присутствуют повсеместно в водах Мирового океана, резко активизируясь при любых обильных нефтяных поступлениях. Возможно, в Мексиканском заливе эти микроорганизмы всегда находятся в несколько повышенных концентрациях, поскольку воды залива практически постоянно подвергаются интенсивному воздействию как естественных природных разгрузок углеводородов, так и все более активных техногенных. Поразительная способность вод залива к восстановлению наблюдалась неоднократно. Так, после самой крупной аварии

на платформе Ixtoc-1 в 1979 г. следов утечки невозможно было обнаружить уже через три года. Аналогичная ситуация наблюдается и в других узлах нефтедобычи. Однако вопрос в том, есть ли у человека такой резерв времени в условиях нефтяной катастрофы? Ход наших часов, к сожалению, весьма отличается от природных. Несомненно, первоочередная важная задача — максимально ускорить процесс, но необходимо предусмотреть вероятные негативные последствия такого ускорения.

Казалось бы, массовый бактериальный засев специализированными бактериальными сообществами, подсказанный самой природой, — один из наиболее перспективных. К тому же мы уже неоднократно убеждались, что природе вообще лучше по возможности потакать, а не объявлять войну. Периодически из разных стран (России, Франции, США и др.) поступает информация о патентах на препараты, основанные на конкретных штаммах УВ-окисляющих бактерий. И все же до реального использования микробиологических методов очистки при нефтяных авариях, по-видимому, еще далеко. Массированное принудительное «лечение» микробными засевами загрязненных нефтью природных экосистем, безусловно, несет в себе (как и всякое недозированное лекарство) новые угрозы. Прежде всего — нарушение бактериального равновесия с резким перекосом в пользу УВ-потребителей и, как итог, возникновение своеобразного природного дисбактериоза (аналогичного столь часто наблюдаемому у многих из нас при неумеренном приеме нами же изобретенных препаратов-антибиотиков). Еще одна угроза, хорошо осознаваемая микробиологами, — возникновение аноксидных обстановок при потреблении кислорода аэробными бактериями. Во время прошлых природных цианобактериальных вспышек, инициированных нефтяными палеоразливами, по-видимому, подобные «дисбактериозы» и аномальные обстановки неоднократно возникали, но затем природа довольно быстро (по своим меркам) избавлялась от них. Однако для нас эта скорость также может оказаться слишком малой.

Возможно, перспективно более активное привлечение к процессам деградации нефти анаэробных нафтофильных бактерий, которые также эффективно «поедают» углеводороды. Но утилизируют они их преимущественно в бескислородных условиях при наличии источников сульфатов и некоторых других веществ. Однако при этом может возникнуть придонное заражение сероводородом (подобное черноморскому) одним из продуктов метаболизма, а также нарушиться баланс фосфатов, сульфатов и др. В любом случае очевидно одно: необходимы специальные системные исследования. К сожалению, в связи с аварией Deerpwater Horizon сколько-нибудь значительные микробиологические наблюдения и целенаправ-

ленные работы либо практически не проводились, либо очень слабо освещались прессой.

\* \* \*

Сегодня на фоне растущих нефтяных угроз (во многом обязанных нашим же достижениям) приходится констатировать, что человечество пока не готово адекватно реагировать на устрашающие экологические последствия нефтяных разливов. Во всяком случае, судя по только что продемонстрированной беспомощности и беспорядочности использовавшихся способов борьбы с ними. Непростительно мало внимания уделяется разработке микробиологических методов

очистки от последствий нефтяных загрязнений. Хотя работы такого плана проводятся, очевидно, что их масштабы совершенно неадекватны растущему масштабу угроз. Международная научная кооперация, создание независимого межгосударственного мультидисциплинарного экспертного органа и проведение незамедлительных системных исследований — видимо, единственный надежный и верный путь выхода из тупика. Возможно, стоит обеспечить принудительное финансирование ведущими нефтяными магнатами — главными поставщиками угроз — работы такого научного сообщества и проведения соответствующих исследований. ■

**Работа выполнена при поддержке РФФИ. Проекты 09-05-11511-с, 10-05-00555-а.**

## Литература

1. Антуан Д., Мартин Р. мл., Пайл Т., Брайант У. Континентальные окраины Мексиканского залива // Геология континентальных окраин / Под ред. К.Берка и Ч.Дрейка. М., 1979. Т.III. С.28—40.
2. Перродон А. История крупных открытий нефти и газа. М., 1994.
3. Гаврилов В.П. Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. М., 1990.
4. Забанбарк А. Структурные черты и перспективы нефтегазоносности континентальных склонов бассейна Мексиканского залива (акватория США) // Океанология. 2006. Т.46. №4. С.596—602.
5. Конохов А.И. Геологическое строение, этапы развития и нефтегазоносные комплексы бассейна Мексиканского залива // Литология и пол. ископ. 2008. №4. С.425—440.
6. Аникиев К.А. Аномально высокие пластовые давления в нефтяных и газовых месторождениях // Тр. ВНИГРИ. Вып. 233. Л., 1964.
7. Беленицкая Г.А. Осадочные бассейны Земли. Соляная тектоника. Литогенез // Планета Земля: Энциклопедический справочник / Гл. ред. Л.И.Красный. Т.2: Тектоника и геодинамика. СПб., 2004. С.189—222, 354—375, 1211—1220.
8. Беленицкая Г.А. Минералогия соленосных бассейнов мира. Соленосные осадочные бассейны Северной Америки // Планета Земля: Энциклопедический справочник / Гл. ред. Л.И.Красный. Том «Минералогия». СПб., 2008. Кн.1. С.165—189. Кн.4. С.123—214.
9. McBride C. The evolution of allochthonous salt along a megaregional profile across the Northern Gulf of Mexico Basin // AAPJ Bulletin. 1998. V.82. №5B. P.1037—1054.
10. Rowan M., Ratiff R., Trudjill B., Duart J. Emplacement and evolution of the Mahogeny salt body, central Louisiana outer shelf, Northern Gulf of Mexico // AAPJ Bulletin. 2001. V.85. №6. P.947—969.
11. Леворсен А. Геология нефти и газа. М., 1970.
12. Беленицкая Г.А. Типы седиментогенеза: расширенный вариант классификации // Отечественная геология. 2008. №3. С.29—45.
13. Sassen R., Sweet S.T., Milkov A.V. et al. Thermogenic vent and gas hydrat in the Gulf of Mexico slope: Is gas hydrat decomposition significant? // Geology. 2001. V. 29. №2. P. 107—110.
14. Асфальтовые вулканы // Знание — сила. 2010. №7. С.26—31.
15. Robin S. Pilcher and Raleigh D. Blumstein. Brine volume and salt dissolution rates in Orca Basin, nortest Gulf of Mexico // AAPJ Bulletin. 1998. V.91. №6. P.823—833.
16. Куда доплывет нефть // Огонек. 2010. №21. С.18.
17. Belenitskaya G.A. Distribution pattern of hydrogen sulphide-bearing gas // Petroleum Geoscience. L., 1998. №4. P.49—66.
18. Москвин А.Г. Месторождения природного асфальта как резерв мировой энергетики // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. №1. С.1—11.
19. Цыбань А.В., Симонов А.И. Процессы микробного окисления нефти в море // Человек и биосфера. Вып.3 / Под ред. В.Д.Федорова. М., 1979. С.143—159.
20. Беленицкая Г.А. Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога // Природа. 2010. №2. С.25—34.



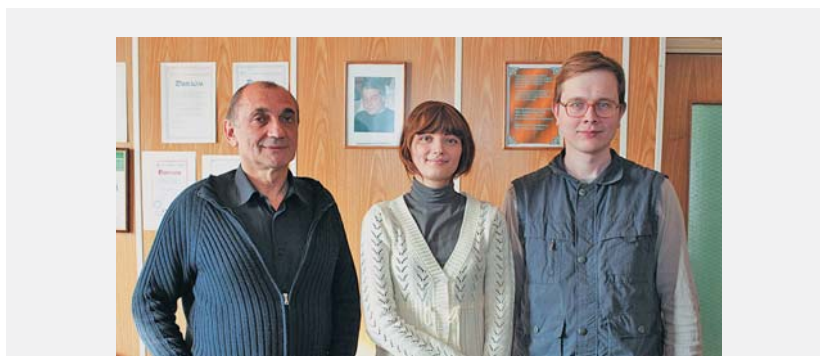
# Система свертывания крови и ее регуляция

А.Н.Баландина, М.А.Пантелеев, Ф.И.Атауллаханов

Каждый поранившийся человек может наблюдать, как кровь превращается из жидкости в студенистую массу. Польза от этого процесса, называемого свертыванием крови, очевидна — прореха в стенке кровяного сосуда должна быть быстро и надежно перекрыта, чтобы предотвратить потерю крови.

Остановка кровотечения (гемостаз) происходит в результате взаимодействия эндотелия сосудов, особых клеток крови — тромбоцитов, которые склеиваются друг с другом, прикрепляются к месту повреждения и создают в месте ранения своего рода пробку, а также белков свертывания крови. Нарушения этой сложнейшей системы крайне опасны, поскольку приводят к кровотечению, тромбозу и другим серьезным патологиям. Человека могут поражать разные болезни (рак, инфаркт, инсульт, атеросклероз и т.д.), а непосредственной причиной его смерти зачастую становится неспособность системы свертывания крови поддерживать баланс между жидким и твердым состояниями крови в организме.

Если причина известна, почему с ней нельзя бороться? Можно: в медицинской практике используются вещества, тормозящие свертывание крови (антикоагулянты) и даже растворяющие тромбы. Но беда в том, что их действие может привести к непредсказуемым



**Анна Николаевна Баландина**, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физической биохимии Гематологического научного центра (ГНЦ) РАМН. Область научных интересов — регуляция порогового поведения системы свертывания крови, гемофилия, механизмы возникновения гиперкоагуляции.

**Михаил Александрович Пантелеев (справа)**, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией молекулярных механизмов гемостаза Центра теоретических проблем физико-химической фармакологии (ЦТП ФХФ) РАН. Лауреат премии имени Р.В.Хохлова (2002) и премии Европейской академии (2007). Занимается изучением механизмов регуляции процессов гемостаза и тромбоза, биохимией и биофизикой свертывания крови, математическим моделированием биологических систем.

**Фазоил Иноятович Атауллаханов**, доктор биологических наук, профессор, директор ЦТП ФХФ РАН, заместитель директора ГНЦ РАМН. Область научных интересов — механизмы регуляции биологических систем, свертывание крови, метаболизм, митоз.

результатам, поскольку неизвестно, какие именно нарушения произошли в системе. Новые методы диагностики и терапии создаются постоянно, но проблема в том, что управляется эта система очень сложным каскадом биохимических реакций. А чтобы научиться регулировать их, нужно точно знать, куда приложить усилие. Простейшая аналогия: для взлета авиалайнера надо уверенно владеть его системой управления, и нелепо пытаться запустить его



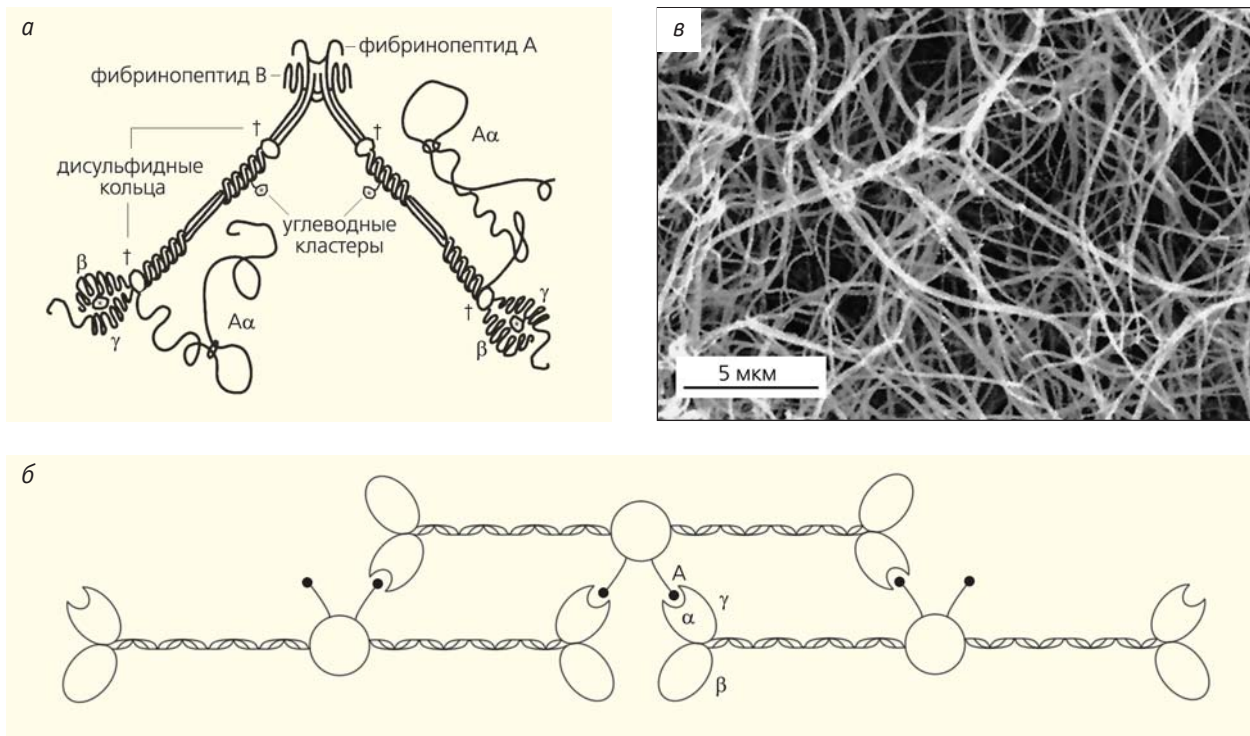


Рис.2. Схема устройства молекулы фибриногена, состоящей из трех пар зеркально расположенных полипептидных цепей  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  (а) [2], механизм сборки фибринового волокна (б) [3], электронная микрофотография геля (в) [4].

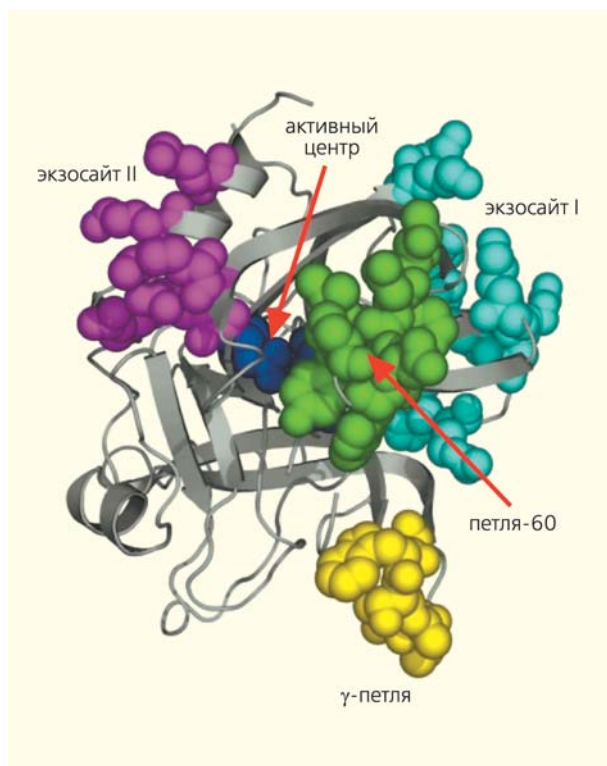


Рис.3. Структура тромбина. Показаны активный центр и части молекулы, ответственные за связывание тромбина с субстратами и кофакторами [5].

зывает из плазмы фактор VIIa, а их комплекс активирует фактор X (см. рис.1).

Тромбин также активирует факторы V, VIII, XI, что ведет к ускорению его собственного производства: фактор XIa запускает фактор IX, а факторы VIIIa и Va связывают факторы IXa и Xa, соответственно увеличивая их активность на порядки. Дефицит этих белков ведет к тяжелым нарушениям: так, отсутствие фактора VIII, IX или XI вызывает тяжелейшую болезнь гемофилию (знаменитую «царскую болезнь», которой страдал царевич Алексей Романов); а дефицит факторов X, VII, V или протромбина несовместим с жизнью.

В крови также присутствуют ингибиторы протеиназ системы свертывания. Основными из них считаются антитромбин III и ингибитор пути тканевого фактора. Кроме этого, тромбин способен активировать сериновую протеиназу (протеин C), которая расщепляет факторы свертывания Va и VIIIa, заставляя их полностью терять свою активность.

Казалось бы, система свертывания изучена очень хорошо: уже 15 лет не открывали новых белков и реакций, что для современной биохимии составляет вечность. Конечно, нельзя исключить вероятность такого открытия, но пока мы не столкнулись ни с одним явлением, которое нельзя было бы объяснить с помощью имеющихся сведений. Скорее наоборот, система выглядит гораздо сложнее, чем нужно: напомним, что из всего кас-



када собственно желированием занимается только одна реакция, а все остальные нужны для какой-то непонятной регуляции.

Именно поэтому сейчас исследователи-коагулологи, работающие в самых разных областях, от клинической гемостазиологии до математической биофизики, активно переходят от вопроса «Как устроено свертывание?» к вопросам «Почему свертывание устроено именно так?», «Как оно работает?» и, наконец, «Как нам нужно воздействовать на свертывание, чтобы добиться желаемого эффекта?». Первое, что необходимо сделать для ответа, — научиться исследовать свертывание целиком, а не только отдельные реакции.

### Как исследовать?

Для изучения свертывания создаются различные модели — экспериментальные и математические. Что именно они позволяют получить?

С одной стороны, кажется, что самое лучшее приближение для изучения объекта — сам объект, в нашем случае — человек или животное. Это позволяет учитывать все факторы, включая ток крови по сосудам, взаимодействие со стенками сосудов и многое другое. Однако тогда сложность задачи окажется почти бесконечной. Модели свертывания позволяют упростить объект исследования, не упуская его существенных особенностей.

Попытаемся представить, каким требованиям должны отвечать эти модели, чтобы корректно отражать процесс свертывания *in vivo*.

В экспериментальной модели необходимо учитывать все биохимические реакции, происходящие в организме. Должны присутствовать не только белки системы свертывания, но и прочие участники этого процесса — клетки крови, эндотелия и субэндотелия. Система должна учитывать пространственную неоднородность свертывания *in vivo*: активацию от поврежденного участка эндотелия, распространение активных факторов, присутствие тока крови.

Эти требования должны выполняться в достаточной мере, чтобы результаты эксперимента могли быть с должными оговорками применимы к организму. Упрощение не повод для отказа от

использования метода, но накладывает ограничения на применимость получаемых результатов. Как видно, вопрос выбора модели чрезвычайно важен, так как от этого напрямую будут зависеть полученные с ее помощью результаты. Как же при таком «упрощении» не упустить суть и получить ответы на интересующие нас вопросы? Для этого в исследовании используется не одна, а несколько моделей, а вывод в конечном счете проверяется на живом организме.

Рассмотрение моделей свертывания естественно начать с методов изучения свертывания *in vivo*. Основа практически всех используемых подходов такого рода заключается в нанесении подопытному животному контролируемого повреждения с тем, чтобы вызвать гемостатическую (кровотечение) или тромботическую (формирование в сосуде сгустка, мешающего нормальному кровоснабжению) реакцию. Существует много способов исследования данной реакции: наблюдение за временем кровотечения; анализ плазмы, взятой у животного; вскрытие умерщвленного животного и гистологическое исследование; слежение за тромбом в реальном времени с использованием микроскопии или ядерного магнитного резонанса (рис.4).

Классическая постановка эксперимента по свертыванию *in vitro* заключается в том, что плазма крови (или кровь) смешивается в некоторой емкости с активатором, после чего анализируется процесс свертывания. Для этого разработаны экспериментальные методики, которые можно разделить на два типа: наблюдение за самим процессом свертывания или за изменением концентраций факторов свертывания по времени. Второй подход дает несравненно больше информации. Теоретически, зная концентрации всех факторов во все времена, можно получить полную информацию о системе. На практике одновременное исследование даже двух белков стоит дорого и связано с большими техническими трудностями.

Наконец, свертывание в организме протекает неоднородно. Формирование сгустка запускается на поврежденной стенке, распространяется с участием активированных тромбоцитов в объеме плазмы, останавливается с помощью эндотелия сосудов. Адекватно изучить эти процессы с помо-



Рис.4. Формирование тромба *in vivo* в модели тромбоза, индуцированного лазером [6].



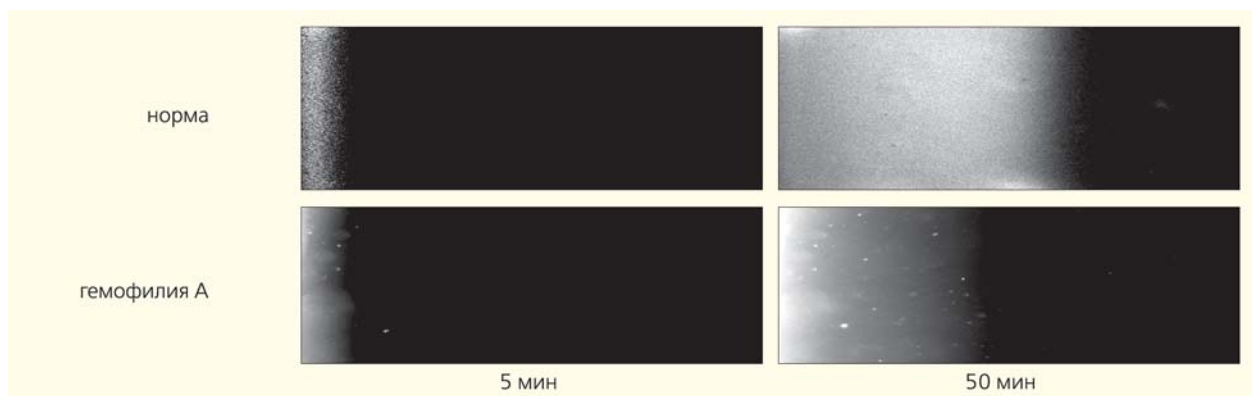


Рис.5. Пространственный рост фибринового сгустка в норме и патологии. Свертывание в тонком слое плазмы крови активировалось иммобилизованным на стенке тканевым фактором. На фотографиях активатор расположен слева. Серая расширяющаяся полоса — растущий фибриновый сгусток.

стью классических методов невозможно. А ведь надо еще учесть наличие потока крови в сосудах.

Осознание этих проблем привело к появлению в 1970-х годах разнообразных проточных экспериментальных систем *in vitro*. Несколько больше времени потребовалось на понимание пространственных аспектов проблемы. Только в 1990-х годах начали создаваться методы, учитывающие пространственную неоднородность и диффузию факторов свертывания, и только в последнее десятилетие их стали активно использовать в научных лабораториях [7] (рис.5).

Наряду с экспериментальными подходами для исследований гемостаза и тромбоза также разрабатываются математические модели (этот метод исследований принято называть «*in silico*»). Математическое моделирование в биологии позволяет устанавливать глубокие и сложные взаимосвязи между биологической теорией и опытом\*. Проведение эксперимента имеет определенные границы и сопряжено с рядом трудностей. Кроме того, некоторые теоретически возможные эксперименты неосуществимы или за пределами дороги вследствие ограничений экспериментальной техники. Моделирование упрощает проведение экспериментов, так как можно заранее подобрать необходимые условия для экспериментов *in vitro* и *in vivo*, при которых интересующий эффект будет наблюдаться.

### Как работает?

Сделаем следующий логический шаг — попробуем ответить на вопрос: а как система свертывания работает?

*Каскадное устройство системы.* Начнем с каскада — цепочки активирующих друг друга фер-

ментов. Один из них, работающий с постоянной скоростью, дает линейную зависимость концентрации продукта от времени. У каскада из  $N$  ферментов эта зависимость будет иметь вид  $t^N$ , где  $t$  — время. Для эффективной работы системы важно, чтобы ответ носил именно такой, «взрывной» характер: это может привести к минимизации времени, когда сгусток фибрина еще непрочен.

*Запуск свертывания и роль положительных обратных связей.* Как упоминалось в первой части статьи, многие реакции свертывания медленны. Так, факторы IXa и Xa сами по себе — очень «плохие» ферменты и для эффективного функционирования нуждаются в кофакторах — факторах VIIIa и Va соответственно. Эти кофакторы активируются тромбином: такое устройство, когда фермент запускает собственное производство, называется петлей положительной обратной связи.

Мы предположили, а затем и экспериментально доказали, что положительная обратная связь активации фактора V тромбином формирует порог по активации, и это — свойство системы не реагировать на малую активацию, но быстро срабатывать при появлении большой. Подобное умение переключаться представляется весьма ценным для свертывания: это позволяет предотвратить «ложное срабатывание» системы.

*Роль внутреннего пути в пространственной динамике свертывания.* Одной из интригующих загадок, преследовавших биохимиков на протяжении многих лет после открытия основных белков свертывания, была роль фактора XI в гемостазе. Его дефицит обнаруживался в простейших тестах свертывания, увеличивая время, необходимое для образования сгустка, однако, в отличие от дефицита фактора XI, не сопровождался нарушениями свертывания.

Один из наиболее правдоподобных вариантов разгадки роли внутреннего пути был предложен нами с помощью пространственно неоднородных экспериментальных систем. Было обнаруже-

\* Подробнее см.: Чугунов А.О., Ефремов Р.Г. Компьютерные игры в молекулярную биофизику // Природа. 2010. №12. С.36—43.



## Как возникла система свертывания крови?

Защитные системы крови начали формироваться вслед за ее появлением у многоклеточных животных свыше миллиарда лет назад, а система свертывания — около 500 млн лет назад, когда позвоночные животные уже обзавелись иммунной системой. Возможно, очередная ее реакция, которая боролась с бактериями путем обволакивания их фибриновым гелем, привела к случайному побочному результату: кровотечение стало прекращаться быстрее. Это позволило увеличивать давление и потоки в кровеносной системе. А улучшение сосудистой системы, т.е. улучшение транспорта всех веществ, открыло новые горизонты

развития. Кто знает, не было ли появление свертывания тем преимуществом, которое позволило позвоночным занять свое нынешнее место в биосфере Земли?

К сожалению, существа с промежуточными формами системы свертывания почти все вымерли. Единственное исключение — бесчелюстные рыбы: анализ генома миноги выявил, что у ее системы свертывания гораздо меньше компонентов. У всех же челюстных позвоночных, от рыб до млекопитающих, эти системы похожи. По схожим принципам работают и системы клеточного гемостаза, хотя мелкие, безъядерные тромбоциты характерны только для млекопитающих, а у остальных позвоночных это — большие ядерные клетки. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 94-04-13108, 97-04-49223, 00-04-48855, 03-04-48338, 06-04-48426, 09-04-00232, 09-04-05085, 09-04-92427, 10-01-91055.**

## Литература

1. *Panteleev M.A., Balandina A.N., Lipets E.N. et al.* Task-oriented modular decomposition of biological networks: trigger mechanism in blood coagulation // *Biophys. J.* 2010. V.98. №9. P.1751—1761.
2. *Fuss C., Palmaz J.C., Sprague E.A.* Fibrinogen: structure, function, and surface interactions // *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2001. V.12. №6. P.677—682.
3. *Pratt K.P., Cote H.C., Chung D.W. et al.* The primary fibrin polymerization // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1997. V. 94. P. 7176—7181.
4. *Mills J.D., Ariens R.A.S., Mansfield M.W. et al.* Altered fibrin clot structure in the healthy relatives of patients with premature coronary artery disease // *Circulation.* 2002. №106. P.1938—1942.
5. *Crawley J.T.B., Zanardelli S., Chion C.K.N.K. et al.* The central role of thrombin in hemostasis // *J. Thromb. Haemost.* 2007. V.5. Suppl.1. P. 95—101.
6. *Falati S., Gross P., Merrill-Skoloff G. et al.* Real-time in vivo imaging of platelets, tissue factor and fibrin during arterial thrombus formation in the mouse // *Nat. Med.* 2002. V.8. №10. P.1175—1181.
7. *Воробьев А., Атауллаханов Ф.И., Емельянеко В. и др.* Анализ пространственной динамики свертывания // *Современные медицинские технологии.* 2010. №4. С.32—37.

# Сага о ресвератроле

А.Г.Голубев

## «Французский парадокс»

«Если бы мне не довелось бывать у моих бабушек с дедушками на виноградниках близ Бордо, мне эта идея, наверное, никогда не пришла бы в голову. Но если вы постоянно видите доживших до 80 или 90 лет, а они всю жизнь пили и пьют вино каждый день понемногу, вы уже не будете считать вино вредным в малых дозах», — эти слова принадлежат Сержу Рено, благодаря которому словосочетание «французский парадокс» приобрело всемирную известность [1]. Парадокс состоит в том, что смертность от сердечно-сосудистых заболеваний во Франции гораздо ниже, чем следует ожидать, — с учетом весьма калорийной и изобилующей жирами французской кухни.

Идея о связи долголетия с привычкой французов сопровождать трапезы вином зародилась у Рено, когда он, работая в Канаде, участвовал в обсуждении эпидемиологических исследований, проводимых в г.Фрамингеме (США). С 1960-х годов население этого городка находится под наблюдением для выявления связей между образом жизни, с одной стороны, и смертностью и продолжительностью жизни — с другой. Кроме медицинских осмотров и анализов проводятся опросы, включающие пункты о курении, употреблении спиртного, физической активности на работе и в свободное время и т.д. Полу-



*Алексей Георгиевич Голубев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела биохимии Научно-исследовательского института экспериментальной медицины РАМН (Санкт-Петербург). Область научных интересов — биохимические механизмы старения.*

ченные уже в начале 1970-х годов результаты показали, что среди жителей Фрамингема, умеренно употребляющих алкоголь, смертность от сердечно-сосудистых заболеваний ниже не только, чем у пьющих неумеренно, но и среди вообще не пьющих. Оптимальный для здоровья уровень потребления алкоголя оказался выше нуля (около 30 г/сут в пересчете на чистый этанол). Руководство Национального института здравоохранения США (NIH) сочло за лучшее придержать публикацию этих результатов, опасаясь, что их можно расценить как поощрение пьянства\*.

В 1973 г., вернувшись во Францию, Рено начал изучать

\* 30 г спирта — это рюмка водки за обедом. Но с этой рюмкой может быть связана проблема, которую лучше всех описал Марк Твен: «Вообще-то я не пью. Ну, не больше рюмки. Но после этой рюмки я становлюсь другим человеком, а этот — пьет как лошадь».

влияние алкоголя на агрегацию (слипание) тромбоцитов у крыс. Эти форменные элементы крови слипаются при повреждении кровеносных сосудов, что приводит к образованию тромба и высвобождению стимуляторов вазоспазма, необходимых для прекращения кровотечения. Если все это происходит при контакте тромбоцитов со стенками сосудов, имеющими атеросклеротические повреждения, то оно чревато тромбозом и ишемией — сердца, мозга, любого органа, где бы это ни случилось. Оказалось, что у крыс алкоголь снижает агрегацию тромбоцитов, а при его отмене она повышается сверх нормы. Поскольку у людей вероятность ишемических атак возрастает не во время самой попойки, а на следующий день, было проведено исследование на добровольцах из числа английских и французских фермеров. И у тех, и у других сразу после принятия алкоголя в при-



вычной для них форме агрегация тромбоцитов снижалась. После отмены спиртного она повышалась сверх нормы у англичан, но не у французов, предпочитающих, в отличие от англичан, красное сухое вино.

В 1991 г. из телевизионного интервью Рено широкая публика узнала, что французы, возможно, потому живут дольше других, что употребляют во время еды красное вино больше прочих, пусть даже и малыми дозами\*. Но только ли в цвете вина дело? Не лишним будет определиться с алкоголем как таковым.

### Спорт и спирт

Сегодня твердо установлено, что наименьшая смертность от сердечно-сосудистых заболеваний и от всех причин при прочих равных условиях соответствует дозам спиртного порядка 30 г в пересчете на этанол в сутки [2]. Известно, что этанол — хороший перехватчик гидроксильных радикалов, т.е. антиоксидант. Но антиоксидантный эффект — явление преходящее, и на самом деле употребление алкоголя сопряжено с хронически повышенной окисленностью и, соответственно, атерогенностью липопротеинов низкой плотности в крови [3]. Возможно, что антиатерогенные

\* Компетентные органы США потребовали, чтобы это заявление, имеющее далеко идущие последствия, было подробно обосновано фактами. «Вот так и появилась моя в соавторстве с Мишель де Лоргериль статья о «французском парадоксе», опубликованная в журнале «Lancet». Если бы мои результаты не были убедительными, я думаю, из INSERM (Национальный институт здоровья и медицинских исследований, Франция) меня бы просто уволили», — вспоминал потом Рено. Справедливости ради, судя по базе библиографических данных Pubmed, первое упоминание о «французском парадоксе» в научной литературе датируется не 1992 г., когда вышла эта статья, а 1987-м (Richard J.L. Arch Mal Coeur Vaiss. 1987 Apr; 80 Spec No:17—21. [Coronary risk factors. The French paradox] — статья вышла на французском).

свойства этанола отчасти связаны с усилением синтеза липопротеинов высокой плотности.

Поскольку вывод о пользе умеренных доз спиртного многих шокирует, его не раз пытались опровергнуть. В целом вывод устоял, хотя и были получены важные уточнения. Так, в Дании в течение 20 лет с участием 12 тыс. добровольцев проверялось, как влияют на смертность алкоголь и физическая активность (спирт и спорт) [4]. На начало исследования у лиц обоих полов без признаков сердечно-сосудистых заболеваний классифицировали физическую активность в свободное время по четырем категориям: отсутствие активности (только телевизор, чтение и т.п.); низкая активность (ходьба, велосипед, работа в саду, неумотительные упражнения 2—4 ч в неделю) и умеренная и высокая активность (легкие упражнения более 4 ч в неделю и физическая активность до утомления не менее 2 ч в неделю). Потребление алкоголя измерялось в единицах *drink* (выпивка). Один *drink* равен бутылке пива, стакану вина или рюмке водки. По числу «дринков» в неделю выделили группы непьющих (менее одного в неделю), мало-пьющих (от одного до 14) и

пьющих (15 и больше). За 20 лет зарегистрировали 5901 случай смерти от любых причин, в том числе 1242 — от сердечно-сосудистых заболеваний (рис.1).

При низкой физической активности смертность оказалась наибольшей. При этом алкоголь не дает никаких преимуществ. Снижает смертность при любом уровне употребления или неупотребления алкоголя физическая активность, но употребление в указанных пределах делает смертность еще ниже. Таким образом, наиболее благополучную группу составляют умеренно пьющие лица с высокой физической активностью.

Надо учитывать, что у людей вероятность смерти от сердечно-сосудистых заболеваний и от всех причин удваивается с прибавлением возраста примерно на каждые семь-восемь лет. Поэтому данные, приведенные на рис.1, должны быть пересчитаны так, чтобы нивелировать этот возрастной эффект. Если же учитывать возраст, то, как видно на рис.2, положительное действие алкоголя отсутствует до 30 лет, перекрывается отрицательным (главным образом в связи с травмами и передозировкой) в возрасте до 60 лет и начинает преобладать только после 65 лет. Но,

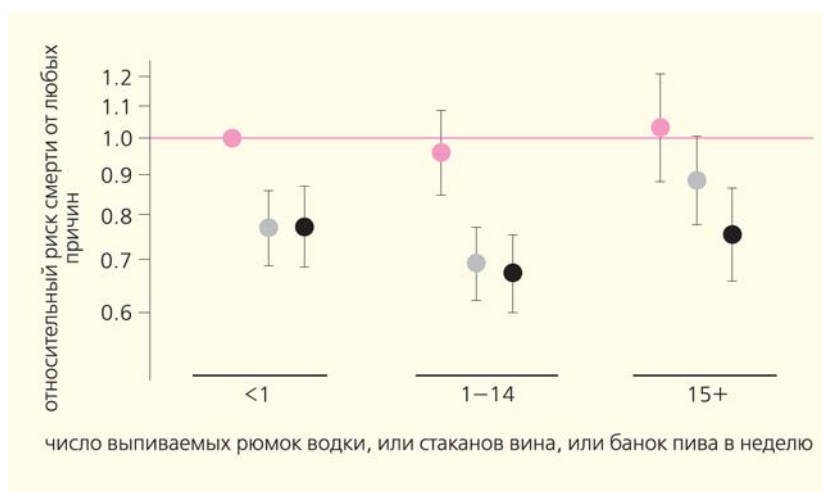


Рис.1. Зависимость между риском смерти от всех причин и потреблением алкоголя при разных уровнях физической активности (розовые кружки — низкая, серые — умеренная, черные — высокая (см. определения в тексте). Смертность среди непьющих неактивных лиц принята за 1. По данным [4].

поскольку именно на старшие возрастные группы приходится основная доля смертности, средний эффект алкоголя оказывается положительным.

### Долгоживущие дрожжи

Основной источник этанола в пищевых продуктах, в том числе вине, — спиртовое брожение, осуществляемое дрожжами *Saccharomyces cerevisia*. Эти одноклеточные грибки размножаются почкованием, поэтому у них всегда можно различить дочернюю и материнскую клетки. При отделении почки от материнской клетки дефектные белки, накопившиеся в ней, не разбавляются равномерно, а остаются в материнской клетке, тогда как дочерняя получает все новое. Со временем материнская дрожжевая клетка постепенно заполняется дефектными макромолекулами, теряет свою жизнеспособность, почкуется все реже и в конце концов гибнет. Малая и, соответственно, сравнительно легко анализируемая продолжительность жизни и простота получения мутантов, различающихся по этому показателю, сделали почкующиеся дрожжи важным объектом геронтологических исследований. В конце 1990-х годов в лаборатории Л. Гуаренте (Массачусетский технологический институт, США) нашли мутантов-долгожителей, имеющих повышенную активность белков, известных как сиртуины (от *silent information regulator* — регулятор молчащей информации). Именно у дрожжей эти белки были впервые описаны как факторы, блокирующие генную экспрессию. Их аналоги имеются и у млекопитающих [5].

На рубеже второго и третьего тысячелетий нашей эры поиском способов определять активность этих белков занялся химик К. Ховиц в компании «Biomol International» (штат Коннектикут, США), производящей реагенты для молекулярно-

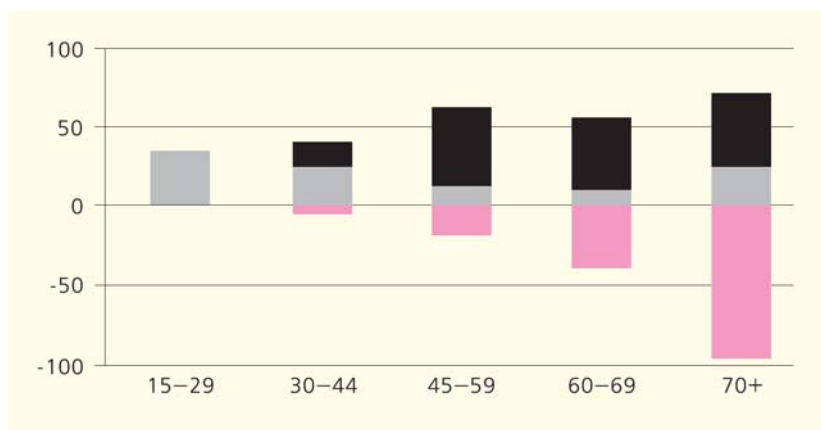


Рис.2. Относительное число случаев смерти (по вертикали) из-за травм (серый цвет), разных болезней (черный цвет) или сердечно-сосудистых заболеваний (розовый цвет), вызванных (вверх от нулевой линии) или предотвращенных (вниз от линии) употреблением алкоголя в разных возрастных группах. Модифицировано из [5].

биологического анализа. В результате скрининга тысяч соединений на способность взаимодействовать с сиртуинами самыми перспективными были признаны стильбены, оказывающие на сиртуины активирующее действие. Самым активным в этой группе оказалось соединение, известное как ресвератрол, один из компонентов красного вина (рис.3)\*.

«Французский парадокс» был в США уже 10 лет как на слуху, и Ховиц обратился к специалисту по биологии сиртуи-

нов Д. Синклеру, который немедленно оценил коммерческий потенциал сложившейся ситуации. Он окрестил ресвератрол соединением R (чтобы никто не догадался) и основал в 2003 г. фармацевтическую компанию «Sirtis», акции которой побили все рекорды по росту стоимости — под обещания разработать верное средство для борьбы со старением. Обещания подтверждались публикациями в ведущих научных журналах о способности ресвератрола продлевать жизнь не только дрожжам, но и другим объектам геронтологических исследований, включая дрозофил и мышей [7].

Надо подчеркнуть, что, поскольку ресвератрол — природное соединение, права на его эксплуатацию не могут быть эксклюзивными. Сейчас рынок бук-

\* Впервые ресвератрол выделили из корневой черемичи (*Veratrum grandiflorum*) в 1940 г. Особенно богата им кожура черного винограда, где он выполняет функции микоцида. Здесь также можно отметить клюкву, голубику, кожуру арахиса, горец японский (*Fallopia japonica*), входящий в состав многих традиционных восточных медикаментов [6].

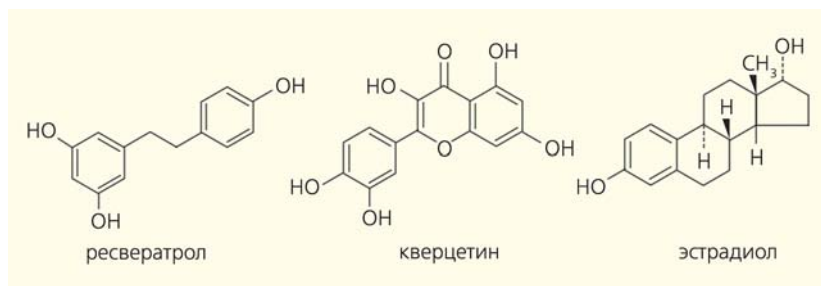


Рис.3. Структура ресвератрола и схожих с ним соединений.

вально завален концентратами из красного винограда, вытяжками из кожуры арахиса и другими обогащенными ресвератролом «лекарствами от старости». Но Синклер имел в виду не препараты, содержащие ресвератрол, а производные и аналоги соединения R с повышенной активностью по конечному результату. Коммерческие предчувствия его не обманули. В 2008 г. компанию «Sirtris» приобрел британский фармацевтический гигант «Глакс-Смит-Кляйн» (GlaxoSmith-Cline, GSC) за 720 млн долл. США. Что же подвигло его руководство на такой шаг?

## Сиртуины

Сегодня известно, что сиртуины вызывают деацетилирование гистонов. Получающиеся при этом менее кислые белки лучше связываются с ДНК (кислотой) и тем самым затрудняют транскрипцию (считывание генетической информации). Кроме того, сиртуины могут деацетилировать некоторые транскрипционные факторы, которые действуют на регуляторные участки генов. При этом транскрипция активируется или ингибируется, в зависимости от основного эффекта данного фактора [5, 8].

Деацетилирующее действие сиртуинов состоит в перенесении ацетильной группы с лизинового остатка белка на АДФРибозу, которую сами же сиртуины генерируют гидролизом никотинамидадениндинуклеотида  $NAD^+$  (рис.4) — основного акцептора водорода от окисляемых субстратов и его переносчика к митохондриальной мембране для выработки энергии. Получается, что активность сиртуинов зависит от соотношения окисленного и восстановленного  $NAD$  ( $NAD^+/NADH$ ). При усилении энергетических потребностей концентрация  $NAD^+$  увеличивается благодаря окислению, а повышенная доступность энергетических суб-

стратов (например, при поступлении пищи) восстанавливает  $NAD^+$  до  $NADH$ . Таким образом, уровень  $NAD^+$  может служить индикатором баланса энергетических ресурсов в клетке и регулятором их распределения на разные нужды, включая самообслуживание и самовоспроизведение, в зависимости от доступности ресурсов.

Так сиртуины и ресвератрол оказались в центре дебатов о природе факторов, определяющих скорость старения и продолжительность жизни, к числу которых относятся соотношения между поступлением и расходом энергетических ресурсов [9]. Если совсем коротко, в любом организме постоянно происходит повреждение его молекулярных компонентов не только из-за внешних воздействий, но и в результате неконтролируемых взаимодействий между самими этими компонентами [10, 11]. Больше всего макромолекулы, в том числе ДНК, страдают от активных форм кислорода (АФК), которые образуются в ходе жизнедеятельности самого организма. Но этим дело не исчерпывается.

В эволюции для выполнения биологических функций отбирались молекулы с нужными свойствами, но у любой молекулы их целый комплекс, и не все они нужны. Эксплуатация нужных свойств строго контролируется, а ненужные проявляются неконтролируемым образом, и как правило, во вред. Для защиты от этого вреда и/или для ликвидации его последствий требуются энергетические ресурсы, и эта потребность конкурирует с защитой от внешних неблагоприятных факторов, а также с главной биологической функцией, которая состоит в участии организмов в самовоспроизведении вида. Когда ресурсов достаточно, они в первую очередь вкладываются в производство потомства. Когда ресурсов недостаточно, они перераспределяются на повышение шансов дожить до ситуа-

ции, более подходящей для самовоспроизведения. Эти шансы можно повысить, ослабив действие внутренних факторов, нарушающих жизнеспособность. Но в условиях изобилия целесообразней вложить ресурсы в несколько новых организмов потомства, а не способствовать сохранению одного старого родительского.

Биохимические механизмы реализации такого подхода возникли еще у древних одноклеточных и перешли в наследство ко всем их потомкам, включая людей. Соответственно, наиболее надежным способом увеличить продолжительность жизни экспериментальных организмов (дрожжей, дрозофил, круглых червей *Caenorabditis elegans*, мышей, крыс и многих других) оказалось ограничение калорийности пищи — до 70% от потребляемой обычно\*. Сдвиг баланса от накопления к расходованию ресурсов возможен также при повышении физической активности. Значимость этого подхода растет по мере усиления роли эндокринных и нейроэндокринных механизмов регуляции функций организма. Он не имеет смысла у дрожжей, неэффективен у беспозвоночных и в полной мере проявляется только у млекопитающих, и более всего — у человека [10–12].

Важность этих взаимосвязей для продолжительности жизни подтверждают многочисленные экспериментальные дан-

\* Открытие ограничения питания по калориям в качестве способа продления жизни экспериментальных животных связывают с именами Клайва Мак-Кэя и Мэри Кроуэлл, проводивших в Корнельском университете исследования на крысах в середине 1930-х годов. Об этих работах вспомнили через 20 лет и после многих проверок признали ограничение питания по калориям единственным воздействием, увеличивающим продолжительность жизни, которое можно воспроизвести в эксперименте. Но на самом деле впервые об этом феномене сообщил еще в 1914 г. Ф.Раус, известный открытием саркомы Рауса у кур и предположением о вирусной природе злокачественных опухолей.

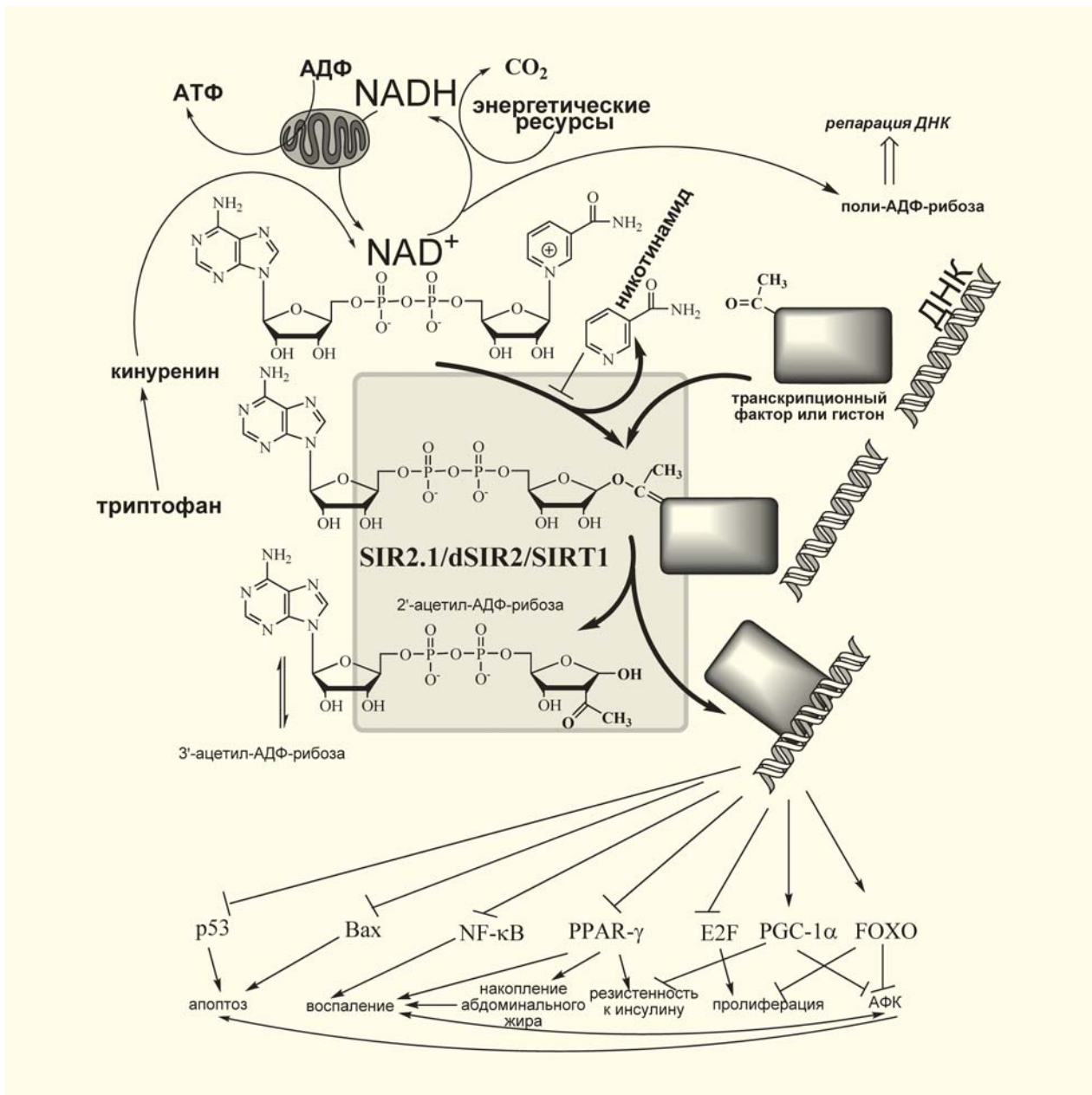


Рис.4. Механизм действия сиртуинов.

ные [5—8, 13]. К их числу относится необходимость сиртуинов для увеличения жизни дрожжей: так, у мутантов, плохо усваивающих глюкозу из питательной среды (аналог голодания), они ограничивают восстановление NAD<sup>+</sup>, а у мутантов, активно синтезирующих продукты, которые участвуют в работе дыхательной цепи митохондрий, сиртуины способствуют окислению NADH до NAD<sup>+</sup>.

У двойных мутантов с инактивированными генами сиртуинов указанные эффекты не наблюдаются.

Сиртуины увеличивали продолжительность жизни у мутантов нематод *C.elegans* с ослабленной функцией мышц глотки, т.е. с ограниченным потреблением пищи. Если эти белки были инактивированы, продолжительность жизни у мутантов не менялась. Трансгенные немато-

ды с повышенной экспрессией гена *sir-2.1*, а также мутанты дрозофил с увеличенной активностью сиртуина *dSir2* жили дольше, чем контрольные. У мышей, содержащихся на низкокалорийном корме, гомолог вышеуказанных сиртуинов *Sirt1* повышал двигательную активность. Совсем недавно показано [13], что усиленная экспрессия *Sirt2* у мышей защищает их от накопления повреждений в ДНК



и развития спонтанных опухолей. Однако эти эффекты существенно не повлияли на продолжительность жизни.

При добавлении ресвератрола в корм (или среду) увеличивалась продолжительность жизни у мышей с индуцированным ожирением, а также у дрожжей, круглых червей *C.elegans*, насекомых *D.melanogaster*, рыбок *Nothobranchius furzeri*. Кроме того, нельзя забывать и о *Homo sapiens* с его «французским парадоксом».

Все эти данные заставили подробно изучить механизм действия ресвератрола на сиртуины. Оказалось, что *in vitro* он способствует деацетилированию, катализируемому сиртуинами, только если их мишени конъюгированы со специальным флуорофором, нужным для анализа, но при этом снижающим сродство белков к сиртуинам. Именно это снижение преодолевается ресвератролом, который в противном случае никак на деацетилирование белка не действует [14].

Такие результаты ставят под сомнение способность ресвератрола активировать сиртуины *in vivo* и заставляют обратить внимание на другие его свойства, в том числе на антиоксидантную активность и сходство между структурами ресвератрола и эстрогенов. Но едва ли к этому сводятся все эффекты ресвератрола, наблюдаемые *in vivo*. Надо признать, что, хотя применение флуорофоров для определения активности сиртуинов и навело на, возможно, ложный след омолаживающего потенциала ресвератрола, оно несомненно стимулировало изучение роли сиртуинов в физиологии вообще и в старении в частности.

### Мишени сиртуинов

В число выявленных мишеней сиртуинов, важных в геронтологическом аспекте, входят транскрипционные факторы NF-κB и PPAR-γ, ингибируемые сиртуи-

нами, или FoxO и PGC-1α, которых сиртуины активируют [5, 8] (рис.4).

Из нескольких типов PPAR (α, β, γ и δ) для нас наиболее важны PPARγ, которые в клетках иммунной системы и эндотелиоцитах блокируют синтез медиаторов воспаления, вызываемый транскрипционным фактором NF-κB. Этот фактор — регулятор транскрипции κ-цепей иммуноглобулинов в В-лимфоцитах. Он оказался узловой точкой, к которой сходятся сигналы, активирующие иммунную защиту, включая воспалительные реакции. Эффекторные клетки воспаления производят активные формы кислорода, которые способны активировать NF-κB. Из-за возникающей таким путем положительной обратной связи активация NF-κB и воспаление могут взаимно поддерживать друг друга. С хронической активацией NF-κB связан патогенез атеросклероза, болезни Альцгеймера, ишемической болезни сердца, возрастное снижение мышечной массы (саркопения), а также развитие некоторых раковых заболеваний, например карциномы ободочной кишки.

Все это вместе нашло отражение в термине «inflammaging». Ослабить то, что обозначено этим словом, можно подавлением любого из компонентов вышеуказанной системы положительных обратных связей, например антиоксидантами или нестероидными противовоспалительными препаратами, в том числе широко известной ацетилсалициловой кислоты (аспирина), которая инактивирует NF-κB. Из эпидемиологических данных известно, что систематический прием низких доз ацетилсалициловой кислоты снижает риск не только инфарктов, но и болезни Альцгеймера и карциномы ободочной кишки.

Среди эффектов PGC-1α значатся активация генов важнейших ферментов антиоксидантной защиты — каталазы и Mn-супероксиддисмутазы. В печени PGC-1α стимулирует синтез

глюкозы и подавляет гликолиз. Недостаточность его синтеза PGC-1α в мышцах предрасполагает к развитию диабета.

Белки FOXO, необходимые для эмбрионального развития, имеют множество известных эффектов. Во взрослом организме их действие сводится к защите от свободных радикалов и теплового шока при одновременном подавлении анаболических процессов и пролиферации. Связь этих белков с физиологическими факторами продолжительности жизни выяснилась, когда оказалось, что у нематод к этому классу транскрипционных факторов относится продукт гена *daf-16*. Этот белок DAF-16, который служит мишенью инактивации со стороны продукта гена *daf-2*. Инактивирующие мутации *daf-2* стали одним из первых примеров увеличения продолжительности жизни, происходящей не при увеличении, а при ослаблении функции гена\*.

На клетках млекопитающих продемонстрировано, что белок FOXO (гомолог DAF-16 нематод) активирует гены супероксиддисмутазы и каталазы, ингибитора циклинзависимых киназ p27, блокатора клеточного

\* Название генов группы *daf* и соответствующих белков DAF (от англ. Dauer Activating Factor) связано с их участием в переходе *C.elegans* в состояние, называемое *dauer larva* (от немецкого *dauer* — долговечный и английского *larva* — личинка). Это случается у развивающихся нематод при недостатке пищи или чрезмерной плотности популяции. Тогда метаболическая активность нематод снижается до минимума, а активность систем защиты от свободных радикалов и теплового шока возрастает, что позволяет такому состоянию длиться гораздо больше нормальной жизни нематод — до двух месяцев. Так нематоды переживают неблагоприятные условия. По выходе из такого состояния они демонстрируют обычную смертность, так что продолжительность их жизни оказывается увеличенной соответственно его длительности. Мутации, приводящие к тому, что взрослые организмы приобретают черты «долговечной личинки», в том числе усиленную защиту от окислительного стресса и теплового шока, увеличивают продолжительность жизни.

цикла Rb и подавляет гены циклинов группы D. В целом все это соответствует антиоксидантному и противораковому действию FOXO и, стало быть, сиртуинов.

### Сиртуиновые войны

Как видно, у компании GSK были основания вложить средства в разработку средств воздействия на биохимические механизмы, контролируемые сиртуинами, в терапевтических целях. Как далеко удалось продвинуться на этом пути?

На сайте фирмы «Sirtris Pharmaceutical Inc.» можно узнать, что компания «сосредоточилась на разработке патентуемых пероральных средств лечения болезней, связанных со старением, в том числе метаболических, воспалительных, нейродегенеративных и сердечно-сосудистых»\*. Препарат SRT104, неродственный ресвератролу по структуре, может снижать глюкозу в крови, препятствовать набору веса, повышать расход энергии, улучшать переносимость физических нагрузок и чувствительность к инсулину. Этот препарат прошел первую фазу клинических испытаний на здоровых добровольцах (для подтверждения его безопасности) и проходит вторую фазу на больных с метаболическими, воспалительными и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Другой препарат, по структуре отличный и от ресвератрола, и от SRT104, в доклинических исследованиях продемонстрировал эффективность в нескольких моделях диабета и воспаления и сейчас проходит первую фазу клинических испытаний.

Между тем с подачи другого фармацевтического гиганта, «Pfizer», снискавшего славу успешной реализацией одного из фундаментальных биохимических открытий (эндогенный ок-

\* <http://www.sirtrispharma.com/pipeline.html>

сид азота и его биологическая роль — Нобелевская премия 2007 г.) в разработку знаменитой Виagri, в научной периодике стали появляться настораживающие сообщения. В электронной версии «Journal of Biological Chemistry» в январе 2010 г. еще до выхода номера в печать опубликованы данные о том, что аналоги ресвератрола (как и он сам), если и действуют, то не активизируя сиртуины, а лишь снимая блокаду их активности, которую вызывают используемые для анализа флуоресцентные метки. Более того, эти препараты не только неэффективны в выбранной авторами модели диабета на мышах, но и вызывают у них повышение веса тела даже в самых низких дозах [14].

Круги от возникшей дискуссии дошли до страниц журналов «Nature» и «Science» [15, 16], где опубликованы беспрецедентные по накаленности дебаты, в которых подвергается сомнению не только роль сиртуинов как универсальных участников реализации ограничения питания в продлении жизни, но и сама универсальность этого феномена. Здесь и в самом деле далеко не все однозначно у людей [см. 9, 12] и даже у гибридных мышей, у которых, в отличие от инбредных, этот феномен воспроизводится далеко не всегда [16].

И как же на таком фоне выглядит сам ресвератрол? На сиртуины он, скорее всего, не действует, хотя многое из того, что о нем пишут, остается плодом фантазий на эту тему. Вполне вероятно, что относительная простота структуры этого полифенола обеспечивает ему множество мишеней, образующих удачное сочетание. В последнее время особое внимание привлекает способность ресвератрола снижать активность протеинкиназы AMPK, участвующей в реализации эффектов инсулина и инсулиноподобных ростовых факторов, приводящих к сокращению жизни экспериментальных жи-

вотных [19]. Узловая точка этих взаимодействий — белок TOR, а, судя по самым последним данным [18], действию ресвератрола способствует... этанол! Дело в том, что для активности TOR необходима фосфатидиновая кислота, которая образуется при гидролизе фосфатидилхолина фосфолипазой D. В присутствии этанола, который оказался предпочтительным субстратом для этого фермента, вместо фосфатидиновой кислоты образуется фосфатидилэтанол, не способный активировать TOR.

Такие результаты обычно порождают множество умозрительных гипотез. Но практически значимая правда всякий раз извлекается из эпидемиологических исследований на достаточно больших контингентах и из мета-анализа исследований, если ни одно из них по отдельности не приводит к достоверным результатам. Каковы же некоторые выводы из таких работ?

Во-первых, «французский парадокс» никто не отменял. Однако, поскольку вклад в него вносит этанол как таковой, роль ресвератрола не следует преувеличивать. Но и синдром похмелья тоже никто не отменял. И тут можно вспомнить о последствиях отмены спиртного для английских и французских фермеров. Показано, что ресвератрол ингибирует связанное с употреблением алкоголя усиление перекисного окисления липопротеинов крови. Но в этом смысле он едва ли лучше других полифенолов, содержащихся в красном вине. Тем не менее, оно выглядит предпочтительней других спиртных напитков... если нет проблем с печенью. Показано также, что препараты ресвератрола не менее эффективны в предотвращении сердечных приступов, чем аспирин (с другой стороны, таблетка ацетилсалициловой кислоты на ночь — одно из лучших средств предупреждения похмелья). Много пишут о противораковых эффектах ресвера-

трола, продемонстрированных на культурах клеток и на опухолях у животных [17]. Однако эпидемиологических подтверждений противораковой активности ресвератрола пока нет. Для примера можно сослаться на исследование, в котором мета-анализ опубликованных ре-

зультатов продемонстрировал отсутствие ожидаемой связи между употреблением красного вина и заболеваемостью раком яичников [19].

Список таких неподтвержденных связей настолько длинный, что не важно, где его прервать. Справедливости ради на-

до признать отсутствие данных и о вреде употребления продуктов, содержащих ресвератрол, который был бы непосредственно связан именно с этим полифенолом. А от военных действий между GSC и «Pfizer» можно ожидать всякого. Конца саге о ресвератроле не видно. ■

## Литература

1. *Simini B.* Serge Renaud: from french paradox to cretan miracle // *Lancet*. 2000. V.355. P.48.
2. *Castellnuovo A.di, Costanzo S., Bagnardi V. et al.* Alcohol dosing and total mortality in men and women. An updated meta-analysis of 34 prospective studies // *Arch Intern Med*. 2006. V.166. P.2437–2445.
3. *Kasdallab-Grissa A., Mornagui B., Aouani E. et al.* Protective effect of resveratrol on ethanol-induced lipid peroxidation in rats // *Alcohol and Alcoholism*. 2006. V.41. P. 236–239.
4. *Pedersen J.O., Heitmann B.L., Schnobr P., Gronb K.M.* The combined influence of leisure-time physical activity and weekly alcohol intake on fatal ischaemic heart disease and all cause mortality // *Europ. Heart J*. 2008. V.29. P.1–9.
5. *Finkel T., Deng Ch.-X., Mostoslavsky R.* Recent progress in the biology and physiology of sirtuins // *Nature*. 2009. V.460. P.587–591.
6. *Pervaizi S.* Resveratrol: from grapevines to mammalian biology // *FASEB J*. 2003. V.17. P.1975–1985.
7. *Ledford H.* Much ado about ageing // *Nature*. 2010. V.464. P.480–481.
8. *Porcu M., Chbiarugi A.* The emerging therapeutic potential of sirtuin-interacting drugs: from cell death to lifespan extension // *Trends Pharmacol*. 2005. V.26. P.93–103.
9. *Голубев А.Г.* Биология продолжительности жизни и старения. СПб., 2009.
10. *Голубев А.Г.* Параметаболическая теория старения // *Успехи геронтол*. 2009. №2. С.205–222.
11. *Golubev A.* How could the Gompertz–Makeham law evolve // *J. Theor. Biol*. 2009. V.258. P.1–17.
12. *Голубев А.Г.* Теория и практика старения // *Успехи геронтол*. 2009. №2. С.205–222.
13. *Herranz D., Munoz-Martin M., Canamero M. et al.* Sirt1 improves healthy ageing and protects from metabolic syndrome-associated cancer // *Nature Communications*. 2010. DOI: 10.1038/ncomms1001.
14. *Pacholec M., Bleasdale L.E., Chrunyk B. et al.* SRT1720, SRT2183, SRT1460, and resveratrol are not direct activators of SIRT1 // *J. Biol. Chem*. 2010. V.285. P.8340–8351.
15. *Buchen L.* Health benefits of red-wine chemical unclear // *Nature*. 2010. DOI: 10.1038/news.2010.18.
16. *Letters. Science*. 2010. V.329. P.1012–1015.
17. *Shakibaei M., Harikumar K., Aggarwal B.B.* Resveratrol addiction: to die or not to die // *Nutr. Food Res*. 2009. V.53. P.115–128.
18. *Foster D.A.* Reduced mortality and moderate alcohol consumption. The phospholipase D-mTOR connection // *Cell Cycle*. 2010. V.9. №7. P.1291–1294; April 1.
19. *Kim H.S., Kim J.W., Shouten L.J. et al.* Wine drinking and epithelial ovarian cancer risk: a meta-analysis // *J. Gynecol. Oncol*. 2010. V.21. P.112–118.

# Необычные свойства диоксида церия

В.К.Иванов, А.Б.Щербаков, Н.М.Жолобак, О.С.Иванова

**Ц**ерий — редкоземельный элемент (№58) из группы лантаноидов — химически весьма активен. Он легко реагирует с кислородом и водородом, бурно взаимодействует с галогенами, азотом и углеродом, образует много разных соединений, в том числе координационных. О свойствах и применении церия и его соединений можно подробно узнать из «Химической энциклопедии», и мы не будем на этом останавливаться. Мы расскажем только о диоксиде церия. Примечательно, что именно в этом виде церий впервые начал применяться: в 1884 г. был получен первый патент на его использование в газонакаливаемых лампах, поскольку оксиды церия усиливали яркость свечения. Здесь речь пойдет о другой — уникальной — способности диоксида церия, о его взаимодействии с активными формами кислорода и о возможности применять в медико-биологических целях.

## Опасное окисление

Подавляющее большинство организмов, как известно, не может обходиться без кислорода, этого важнейшего компонента и посредника окислительно-восстановительных реакций. Его метаболизм сопровождается образованием различных актив-



**Владимир Константинович Иванов**, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории химической синергетики Института общей и неорганической химии им.Н.С.Курнакова РАН (ИОНХ). Научные интересы: химия оксидов переходных и редкоземельных элементов.



**Александр Борисович Щербаков**, кандидат химических наук, ведущий инженер отдела проблем интерферона и иммуномодуляторов Института микробиологии и вирусологии НАН Украины. Занимается исследованием химических свойств новых функциональных материалов, коллоидных систем, наночастиц, их адсорбцией и применением в фармакологии.



**Надежда Михайловна Жолобак**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник того же отдела. Научные интересы связаны с изучением взаимодействия вируса и клетки, молекулярно-биологических закономерностей формирования антивирусного состояния, с созданием новых антивирусных препаратов.



**Ольга Сергеевна Иванова**, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории химической синергетики ИОНХ. Занимается синтезом и исследованием функциональных материалов на основе диоксида церия.

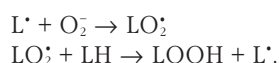
© Иванов В.К., Щербаков А.Б., Жолобак Н.М., Иванова О.С., 2011



ных форм, которые могут последовательно превращаться одна в другую:



Клеточные ферменты регулируют необходимый уровень активных форм кислорода (АФК). Но если по какой-либо причине нарушается равновесие между продукцией АФК и концентрацией (активностью) ферментов, возникают повреждения, вызванные окислением, т.е. окислительный стресс. Например, часть произведенного в митохондриях супероксида ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) может просачиваться за пределы электронной транспортной цепи и повреждать белки. Кроме того, супероксид способен протонироваться, и тогда образуется сначала перекись\* водорода, а из нее — гидроксильный радикал ( $\text{OH}\cdot$ ), короткоживущая (время полужизни около  $10^{-9}$  с), но самая реакционно-способная активная форма кислорода. Именно этот радикал наиболее опасен, так как окисляет практически все органические молекулы, в том числе белки и нуклеиновые кислоты. Помимо этого,  $\text{OH}\cdot$  вызывает депротонирование ненасыщенных жирных кислот и таким образом инициирует цепные реакции перекисного окисления липидов. Вначале образуются липидные радикалы  $\text{LH} + \text{OH}\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{L}\cdot$ , которые реагируют с кислородом, а продукт этой реакции взаимодействует с новыми молекулами ненасыщенных жирных кислот, и появляются довольно стабильные липидные перекиси:



Перекисное окисление липидов чревато многими неприятностями, поскольку служит причиной накопления разнообразных дефектов в клетке. Связано это с тем, что полиненасыщенные жирные кислоты входят в состав клеточных мембран (и липопротеидов), а окисление нарушает нормальную упаковку мембранного билayers. Его искажение приводит к повреждению белков, связанных с мембраной, например рецепторов и ферментов, в результате чего возникают патологические изменения в тканях. Поэтому в организме и существует эффективная система, предотвращающая перекисное окисление липидов.

С избытком супероксида клетка борется каталитически — фермент супероксиддисмутаза преобразует его в кислород и перекись водорода, которая, как уже сказано, может превращаться в гидроксильный радикал. Излишки перекиси уничтожают ферменты каталаза и пероксидазы, важней-

шая из которых глутатионпероксидаза, способная восстанавливать также и органические гидроперекиси ( $\text{ROOH}$ ). Но гидроксильный радикал ферментам неподвластен, единственные защитники клетки от него — антиоксиданты. Эти неферментативные компоненты антиоксидантной системы обеспечивают еще одну линию обороны организма от АФК. В число антиоксидантов входят глутатион, мочевая кислота, витамины А, Е и С, растительные пигменты флавоноиды (антоцианы, кверцетин, рутин, катехины, танины), которых насчитывается более 6500, и многие другие соединения.

Витамин Е ( $\alpha$ -токоферол) — самый распространенный антиоксидант в природе. Он способен взаимодействовать с липидными радикалами непосредственно в гидрофобном слое мембран и тем самым обрывать реакционные цепи окисления липидов, а сам превращается в стабильную окисленную форму.  $\beta$ -каротин (предшественник витамина А) и витамин С тоже останавливают цепь липидного окисления, причем витамин С действует в этом процессе двойко. Во-первых, восстанавливает окисленную форму витамина Е, поддерживая этим его необходимую концентрацию. Во-вторых, взаимодействует с водорастворимыми активными формами кислорода и инактивирует их.

Понятно, что если система защиты нарушена, возникает окислительный стресс. Но он может быть вызван также психологическими факторами, экзо- и эндогенными интоксикациями, ионизирующим излучением и техногенным загрязнением окружающей среды.

Окислительный стресс участвует в патогенезе более 100 разных заболеваний — прежде всего нейродегенеративных, таких как болезнь Альцгеймера и другие типы деменций, болезнь Паркинсона, боковой амиотрофический склероз, эпилепсия и рассеянный склероз. Помимо перечисленных болезней этот стресс считается участником других патологий — артрита, кардиологических дисфункций и тех, что вызывают необратимую слепоту, например диабетическую ретинопатию, макулярную и ретиальную дегенерацию. Наконец, старение любого организма сопровождается окислительным стрессом, так как активность естественной антиоксидантной системы с возрастом снижается, а концентрация продуктов перекисного окисления липидов увеличивается.

Таким образом, из-за нарушения нормальной работы антиоксидантной системы организма или значительного повышения уровня экзогенных АФК возможны крайне тяжелые последствия. В подобных ситуациях для защиты организма необходимы разного рода антиоксиданты. На наш взгляд, к числу наиболее перспективных из них относится нанокристаллический диоксид церия (НДЦ).

\* Здесь используется привычное русскому уху название «перекись», хотя по химической номенклатуре нужно употреблять «пероксид». Но ведь тогда должно быть не окисление, а оксидация, да и стресс не окислительный, а оксидативный и т.д. Правда, «диоксид» пришлось оставить. — *Примеч. ред.*

## Достоинные удивления свойства

Прежде чем рассказать о нанокристаллическом диоксиде церия, напомним, что сам церий может находиться в двух степенях окисления —  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Ce}^{4+}$ . С кислородом он легко вступает в реакцию и образует два устойчивых оксида ( $\text{CeO}_2$  и  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ), несколько промежуточных соединений и фазы переменного состава. Диоксид церия имеет кубическую гранцентрированную решетку (структурный тип флуорита) с параметром элементарной ячейки  $a = 5.411 \text{ \AA}$ , в которой каждый атом церия связан с восемью атомами кислорода. Примечательно, что в диоксиде церия степень окисления металла может меняться, а структура остается неизменной. Стехиометрия оксидов зависит от температуры и парциального давления кислорода; диоксид церия, например, может восстанавливаться при повышении температуры и снижении давления. Такое восстановление приводит к образованию дефицитных по кислороду соединений, т.е. нестехиометрических  $\text{CeO}_x$ , но при этом флуоритоподобная структура сохраняется.

Обычный, макрокристаллический диоксид церия ( $\text{CeO}_2$ ) представляет собой вещество бледно-желтого цвета и широко применяется в самых разных технических областях. Его используют для полировки оптических и технических стекол; как компонент стекол, керамик; как промежуточный продукт при получении церия и его соедине-

ний; в сенсорах, электрохромных и противокоррозионных покрытиях; он входит в состав многочисленных катализаторов и других функциональных материалов [1].

Физико-химические характеристики макрокристаллического и наноразмерного диоксида церия существенно различаются, причем свойства последнего зависят от многого: из какого соединения его получают, каким способом и в каких условиях, какой стабилизатор используют, чтобы предотвратить агрегацию наночастиц, и, конечно же, от их размера, а также от заряда поверхности [2].

Параметры элементарных ячеек многих веществ с переходом в нанокристаллическое состояние уменьшаются. Но для некоторых оксидов, в том числе  $\text{CeO}_{2-x}$ , характерно обратное — увеличение параметров [3]. Такая зависимость была впервые выявлена только в 1999 г. [4]. Полагают, что изменение вызвано частичным удалением атомов кислорода из поверхностного слоя частиц, т.е. образованием кислородных вакансий, которое сопровождается снижением эффективной степени окисления церия (рис.1). По одним расчетам, полный переход  $\text{Ce(IV)} \rightarrow \text{Ce(III)}$  должен происходить при размере частиц, равном 1.5 нм, по другим — 3 нм. Мы определили, что размер частиц НДЦ, при котором все ионы церия в кристаллической решетке будут находиться в состоянии  $\text{Ce}^{3+}$ , лежит в пределах 1.1—1.3 нм [3, 5]. С уменьшением размера частиц растет и способность

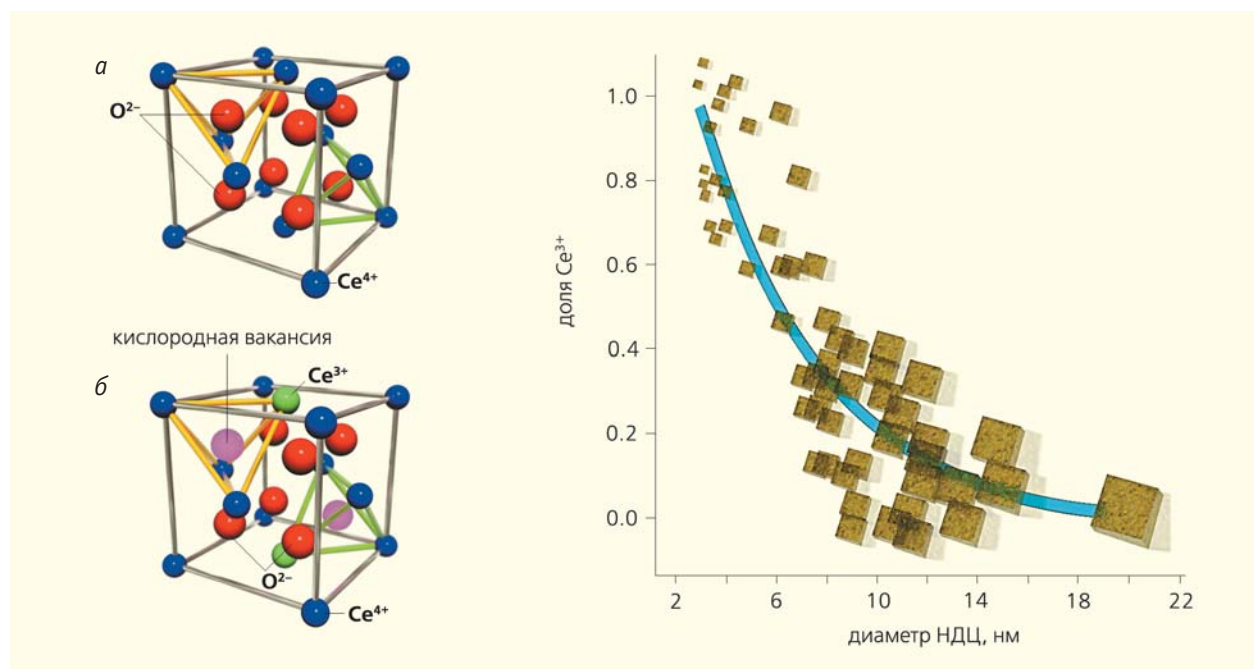


Рис.1. Схема кристаллической решетки макро- (а) и наноразмерного (б) диоксида церия и график, отражающий зависимость содержания  $\text{Ce}^{3+}$  в кристаллической решетке от размера частиц НДЦ (Wu L.J. et al. // Phys. Rev. B. 2004. V.69. P.125415-1—125415-9). С уменьшением размера частицы доля  $\text{Ce}^{3+}$  в кристаллической решетке нанокристаллического диоксида церия (НДЦ) возрастает; критический размер частицы, при котором весь церий находится в трехвалентном состоянии, составляет примерно 1.1—1.3 нм.

НДЦ участвовать в окислительно-восстановительных процессах в качестве акцептора АФК.

Существует множество способов получения наночастиц диоксида церия из солей Ce(III) или Ce(IV), но лишь немногие полностью пригодны для медико-биологических целей. Синтез НДЦ для этого применения — непростая задача, в каждом конкретном случае полученные наночастицы требуют детального изучения. Конечно, наиболее интересные методы — те, которые позволяют синтезировать частицы от 1 до 10 нм. Именно в этом диапазоне проявляются характерные для НДЦ размерные эффекты — кислородная нестехиометрия и хорошо известные изменения электрофизических и оптических свойств. Нам удалось получить НДЦ с частицами ультрамалого размера. Синтез золей мы прово-

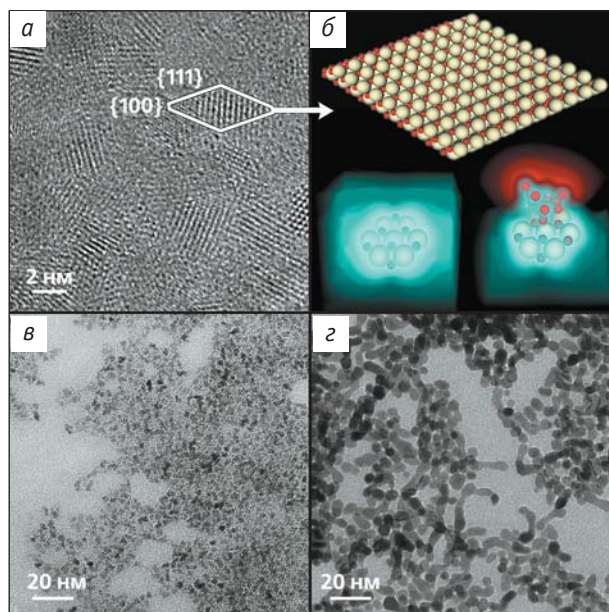


Рис.2. Микрофотографии частиц (4—5 нм) НДЦ, стабилизированных цитратом натрия (а, в, з) и математическая модель их элементарного кластера (б) Видно, что по сравнению с исходными наночастицами (а) частицы цитратного золя НДЦ становятся тем крупнее, чем длительнее его термообработка (180°C) (в — 15 мин; з — 3 ч). Следовательно, термообработкой можно целенаправленно регулировать физико-химические свойства НДЦ в соответствии с требованиями медико-биологической задачи. На математической модели (б) элементарного кластера  $Ce_2O_3$  (фрагмента одного из нанокристаллов, показанного вверху в виде ромбовидной фигуры; каждый нанокристалл состоит всего из нескольких сотен атомов церия и кислорода) изображены два варианта: один с «голой», положительно заряженной поверхностью (левая голубая фигура), второй — с адсорбированным на поверхности цитрат-ионом и за счет этого приобретший положительный заряд. Заряд поверхности (дзета-потенциал) чрезвычайно важен для стабилизации НДЦ и для поведения частиц в биологических системах.

дили через стадию образования комплексных соединений церия с многоосновными кислотами — лимонной или полиакриловой [6]. Они адсорбируются на поверхности наночастиц диоксида церия и препятствуют их агрегации в процессе синтеза, поэтому образовавшиеся частицы НДЦ не только малы, но и морфологически сходны. Благодаря дополнительной термообработке цитратных золей размеры частиц НДЦ можно варьировать во всем диапазоне 1—10 нм, представляющем интерес с практической точки зрения (рис.2). Все синтезированные таким образом золи НДЦ пригодны для использования в биологических системах без какой-либо дополнительной модификации.

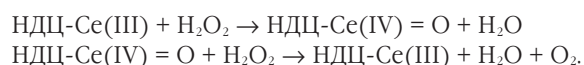
Большую роль в проявлении свойств НДЦ играет, как упоминалось, используемый стабилизатор, без него частицы слипаются, образуют агрегаты. Стабилизаторами могут быть растворенные белки, полимеры природные (например, углеводы) и синтетические, а также поверхностно-активные вещества. Состав и концентрация стабилизатора — это одни из тех рычагов, которыми можно управлять размером наночастиц.

Еще одно специфическое и крайне важное свойство НДЦ — его способность к регенерации, сближающая его с природными ферментами.

## На помощь организму

Соединения церия давно стали использовать в составе лекарственных препаратов. Их активным компонентом были водорастворимые соли Ce(III), а также стеарат и оксалат Ce, причем даже в виде коллоидных растворов. Используются соли церия и сейчас, например, для предотвращения симптомов «морской болезни» или для лечения ожоговых ран. Было бы неверно думать, что необычные и привлекательные свойства НДЦ не могут послужить медицине и биологии. Напротив, этому направлению исследований посвящены почти все современные работы, связанные с НДЦ.

Главная ценность НДЦ для медицины — способность участвовать в окислительно-восстановительных процессах, обусловленная кислородной нестехиометрией. Благодаря этому НДЦ разлагает, например, перекись водорода. Как выяснилось из экспериментов с коллоидным раствором НДЦ, реакция проходит в несколько стадий: сначала на поверхности НДЦ ион Ce(III) окисляется до Ce(IV), а затем восстанавливается до первоначального состояния. Совокупный процесс можно представить так:



Если повторить обработку перекисью, цикл окисления-восстановления повторяется (рис.3),



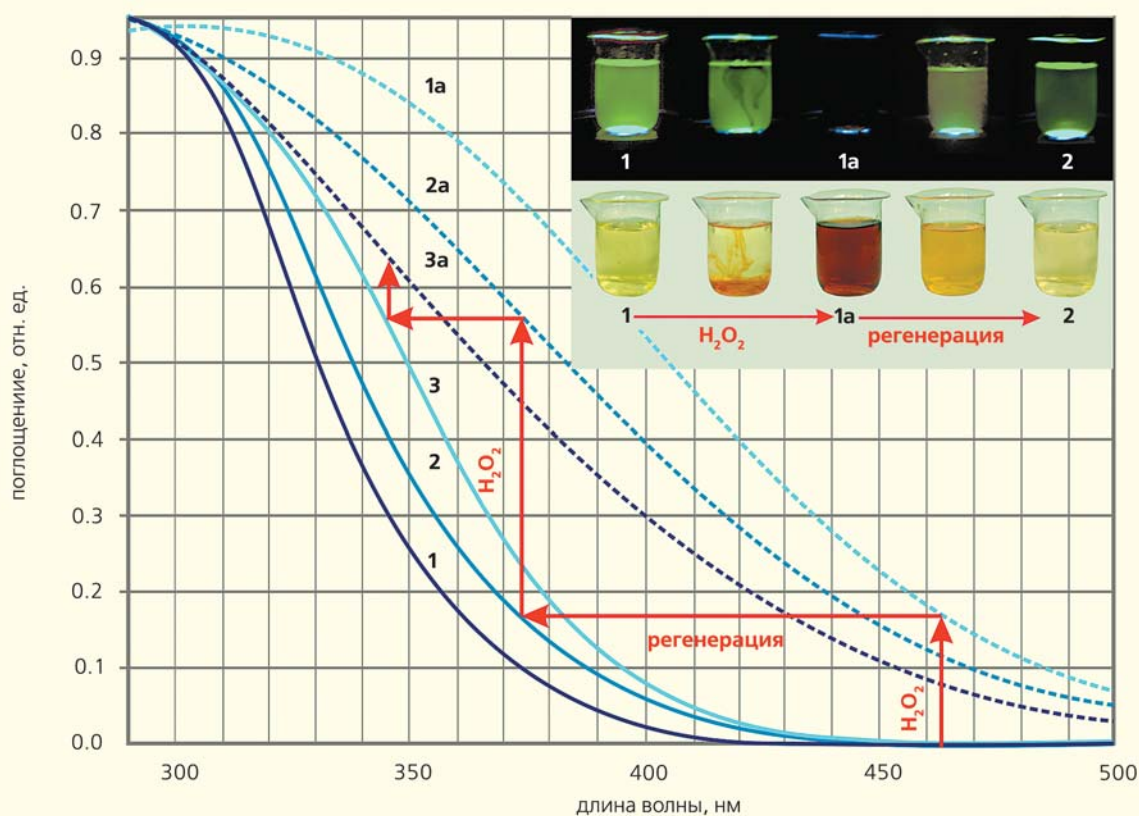


Рис.3. Изменение степени окисления ионов церия в НДЦ при обработке перекисью водорода. Это можно регистрировать по спектрам поглощения золей в УФ-диапазоне или визуально — в ультрафиолетовом (на врезке вверху) или видимом (на врезке внизу) свете. Золи НДЦ, содержащие преимущественно ионы  $\text{Ce}^{3+}$ , прозрачны в области ближнего ультрафиолета (растворы и кривые 1, 2, 3), но при избытке в них  $\text{Ce}^{4+}$  практически не пропускают УФ этого диапазона (растворы и кривые 1a, 2a, 3a). Если в золь НДЦ добавить  $\text{H}_2\text{O}_2$  (раствор и кривая 1), кислородная нестехиометрия частицы  $\text{CeO}_{2-x}$  снижается (уменьшается значение  $x$ ) до полного насыщения (раствор и кривая 1a), при этом церий окисляется до  $\text{Ce}^{4+}$ , а перекись водорода разлагается на кислород и воду. После полного разложения введенной порции  $\text{H}_2\text{O}_2$  наночастицы диоксида церия постепенно восстанавливаются до исходного состояния (раствор и кривая 2) и могут разлагать следующую порцию  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Колебательные окислительно-восстановительные процессы относятся к числу важнейших в живой природе. В 1951 г. Б.П.Белоусов, пытаясь найти неорганический аналог цикла Кребса\*, открыл явление автоколебательной химической реакции, катализатором которой были ионы церия  $\text{Ce}^{3+}$ . Физико-химические свойства НДЦ наводят на мысль, что он тоже может регулировать циклические окислительно-восстановительные процессы.

Мы говорили о способности золей  $\text{CeO}_2$  к регенерации, чем они напоминают ферменты, притом разные. Так, разлагая перекись водорода, НДЦ выполняет функцию каталазы, к тому же по сходному механизму [2]. Ферменты, как известно, рабо-

\* Цикл Кребса (иначе — цикл трикарбоновых кислот, цикл лимонной кислоты) — это этап клеточного дыхания, центр пересечения множества метаболических путей в организме. Все реакции цикла протекают в митохондриях.

тают только в физиологических условиях организма, а НДЦ при изменении условий остается действующим, но «меняет профессию». В щелочной среде ( $\text{pH} > 7$ ) НДЦ проявляет каталазоподобную активность, а в кислой ( $\text{pH} < 6$ ) ведет себя подобно другому ферменту — оксидазе. Более того, НДЦ может выполнять функции фермента супероксиддисмутазы, причем так же, как она, — в две стадии и с теми же продуктами реакции. По окончании реакции дисмутации эффективная степень окисления церия в наночастицах остается неизменной [2]. Этим каталитические возможности НДЦ не ограничиваются. В наших экспериментах он инактивировал не только короткоживущие радикалы (например, гидроксильный), но и стабильные [7]. Дополним, скорость этой реакции пропорционально возрастала с уменьшением размера наночастиц. Если вспомнить, что при уменьшении их размера растет доля  $\text{Ce(III)}$  на поверх-



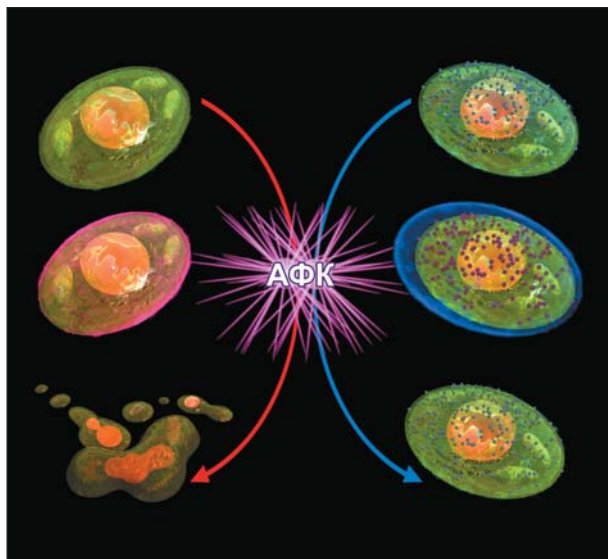


Рис.4. Принципиальная схема действия активных форм кислорода (АФК) на незащищенную клетку (слева) и клетку, обработанную НДЦ. Без АФК жизнеспособность эукариотической клетки практически остается без изменений (верхний ряд), с добавкой НДЦ или без нее. Однако если на эту клетку подействовать АФК (или фактором, вызывающим продукцию АФК, например облучением, химическим токсином или вирусом), отличие становится очевидным. Клетка, не обработанная наночастицами диоксида церия (в середине слева), неспособна самостоятельно блокировать АФК и необратимо повреждается, а затем погибает (слева внизу), самоуничтожается, например, по механизму окситоза (апоптоза, вызванного окислительным стрессом). Если же присутствует НДЦ (в середине справа), он инактивирует АФК, и клетка, будто «защищенная оболочкой», существенных повреждений не получает, остается целой (внизу справа). Более того, через некоторое время НДЦ восстанавливается и при повторном действии АФК может вновь защищать от них клетку.

ности, то определяющую роль в инактивации свободных радикалов играют именно ионы  $\text{Ce}^{3+}$ .

Благодаря такой активности НДЦ может участвовать в качестве регулятора концентрации АФК и акцептора свободных радикалов (рис.4) как на клеточном, так и на организменном уровне. Приведем для примера защитное действие НДЦ на клетки, подвергнутые «атаке» перекиси водорода. Ее избыток повреждает и свободные органические молекулы, и клеточные мембраны, а при концентрации в цитоплазме выше 1 мкМ вызывает гибель клеток.

В экспериментах мы использовали стабилизированный цитратом натрия НДЦ с размером частиц 1–2 нм. Объектами служили клетки мышинных фибробластов (L929) и фибробластоподобных клеток (VERO) зеленой мартышки, обработанные перекисью водорода в концентрации 800 мМ. Такая концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  настолько токсична для клеток VERO, что в контрольном опыте (без НДЦ) практически все они погибли (рис.5). При добавлении 2,3 мг/мл нанокристаллического диоксида церия клетки оказались полностью защищенными от окисления и гибели (см. рис.5). Интересно, что НДЦ оказывал защитное действие не только при введении *до* или *вместе* с перекисью водорода, но и *после* обработки ею клеток. Иначе говоря, НДЦ проявил себя и как защитное (профилактическое) средство, и как терапевтическое.

Эксперименты с мышинными фибробластами L929 проводились по-иному. Контролем служили исходные живые клетки, а опытные фибробласты обрабатывали либо отдельно НДЦ, либо только  $\text{H}_2\text{O}_2$ , либо обоими реагентами вместе. Чтобы безошибочно отличить живые фибробласты от погибших, все клетки окрашивали люминесцентными красителями разного рода. Один из них проникает через неповрежденные мембраны и окрашивает живые клетки в зеленый цвет. Другой ок-

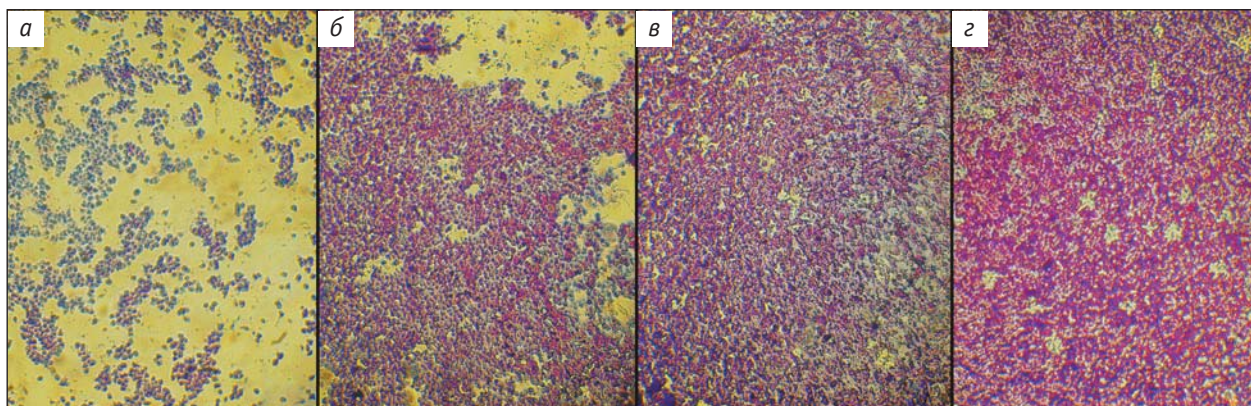


Рис.5. Культура клеток VERO, обработанная 0,8 М раствором  $\text{H}_2\text{O}_2$  без НДЦ (а) и в присутствии его разного количества: 0,29 мг/мл (б), 1,17 мг/мл (в), 2,3 мг/мл (г). В отсутствие НДЦ перекись водорода практически полностью уничтожила монослой клеток (а). В вариантах с добавлением наночастиц диоксида церия (б–г) клетки оказались защищенными от разрушающего действия  $\text{H}_2\text{O}_2$ , причем степень защиты возрастала с увеличением концентрации НДЦ, а когда она достигла 2,3 мг/мл (г), перекись водорода не влияла на жизнеспособность клеток VERO.

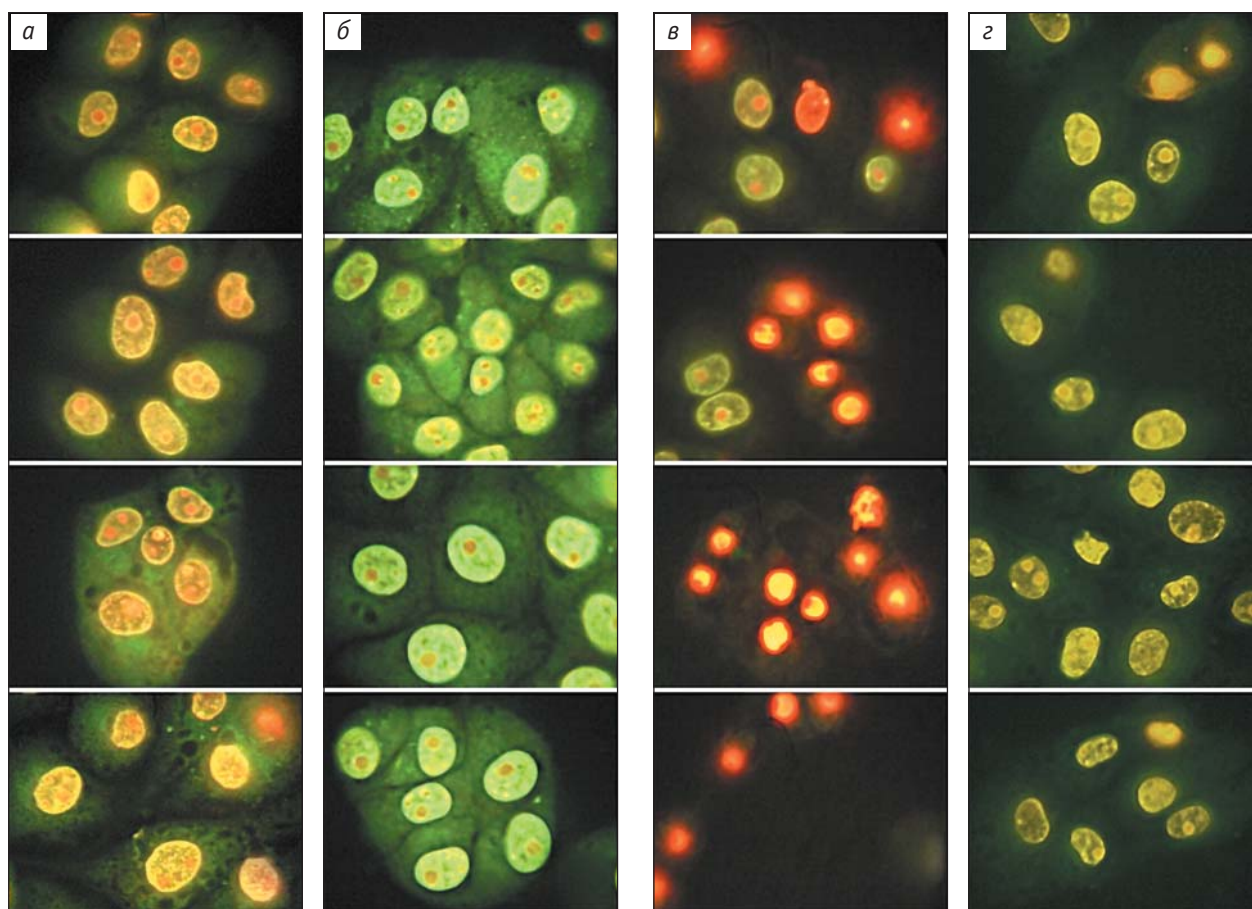


Рис.6. Люминесцентные микрофотографии культуры клеток L929: выращенной в питательной среде без посторонних добавок (а, контроль); обработанной только НДЦ в концентрации 2.3 мг/мл (б); только перекисью водорода (0.8 М; в); обоими агентами и в тех же концентрациях (г). Обработка одним лишь НДЦ практически не сказывается на жизнеспособности культуры клеток: все они, судя по зеленому свечению, выглядят здоровыми (даже чуть лучше, чем в контроле). При действии на клетки  $H_2O_2$  почти все они подвергаются окислительному разрушению и гибнут (мертвые клетки люминесцируют красным цветом). Но если культуру клеток обработать тем же количеством перекиси водорода в присутствии НДЦ, то nanoparticles нейтрализуют разрушительное действие АФК и клетки не страдают (г).

рашивает ядра в оранжевый цвет; если мембрана разрушена, содержимое цитоплазмы растекается и при УФ-освещении видны только красные люминесцирующие ядра погибших клеток. Результаты (рис.6) полностью соответствовали нашим теоретическим представлениям (см. рис.4). Исходная культура фибробластов и клетки, обработанные НДЦ, практически не различались между собой, но под действием перекиси водорода (без НДЦ) быстро разрушились и погибли. Защитное действие НДЦ на мышинные фибробласты было столь же явным, как и на клетки VERO: даже при концентрации перекиси 800 мМ почти все они остались неповрежденными.

Если сравнить активность НДЦ и природных антиоксидантов, она будет в пользу нанокристаллитов. Аскорбиновая кислота,  $\alpha$ -токоферол и другие природные защитники от АФК участвуют только в одном окислительно-восстановитель-

ном цикле, после чего инактивируются, а наноразмерный диоксид церия регенерирует и может участвовать в последующих реакциях. Нередко его преимущество перед природными антиоксидантами проявляется и в активности. Например, водные золи НДЦ (размер частиц 1–3 нм) в наших экспериментах оказались более сильными антиоксидантами по сравнению с флавоноидами (антоцианами, катехинами, танинами и т.д.) [8]. Не менее интересен другой результат: золи НДЦ (размер частиц 2–5 нм) в неполярных растворителях защищали от окислительной деградации другой важнейший антиоксидант —  $\beta$ -каротин (провитамин А) [5].

Парацельс утверждал, что яд от лекарства отличается только дозой. Исходя из результатов изучения НДЦ, стало понятно, что яд от лекарства отличается еще и размером частиц. Оказалось, что при их размере более 20–30 нм НДЦ биологически



инертен, а в интервале 10–20 нм, когда частицы содержат относительно большое количество  $\text{Ce(IV)}$  на поверхности, они могут проявлять некоторую токсичность. Для медико-биологических целей, которые довольно подробно рассмотрены нами в специальной публикации [2], наименее токсичны и наиболее активны частицы НДЦ размером 1–10 нм.

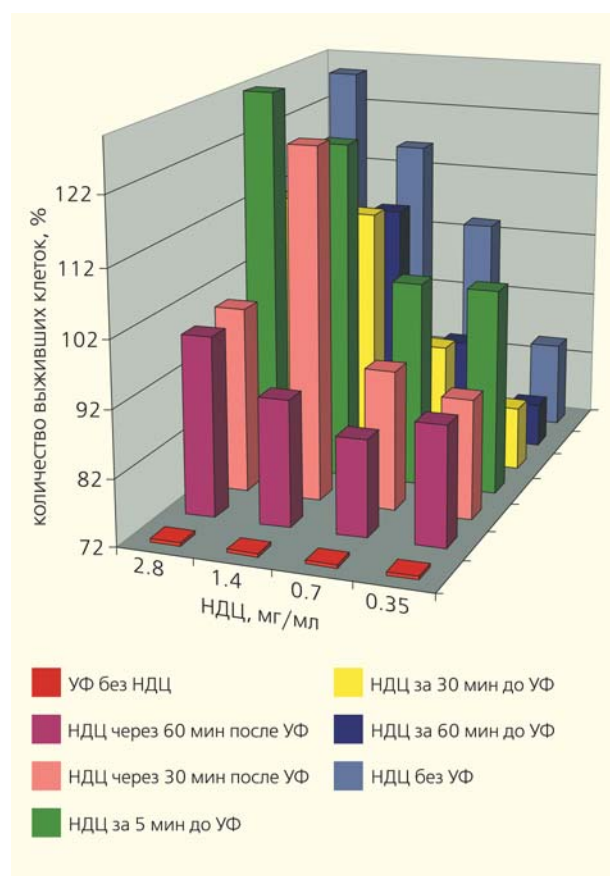


Рис. 7. Влияние концентрации НДЦ и последовательности обработки им клеток VERO на их выживание при УФ-облучении  $\sim 30 \text{ Дж/м}^2$  (около предельно допустимой дозы). Жизнеспособность необработанных (контрольных) клеток принята за 100%. Средняя выживаемость облученных клеток, как видно на гистограмме, составила около 70%. Введение НДЦ существенно повысило выживаемость клеток, независимо от количества наночастиц и последовательности обработки. В ряде случаев количество живых клеток в обработанной (и даже облученной) культуре было больше, чем в контрольной, поскольку они размножились. Когда НДЦ (в концентрации 2.8 мг/мл) вводили за 5 мин до облучения, он обеспечивал максимальную защиту, при этом наночастицы действовали не только в качестве акцептора АФК, но и в качестве УФ-фильтра, блокирующего излучение. НДЦ защищал клетки от разрушения АФК даже при добавлении в культуру клеток после их УФ-облучения (это имитация «солнечного ожога»). В этом случае терапевтическое действие наночастиц (в концентрации 1.4 мг/мл) было максимальным при обработке клеток через 30 мин после облучения.

Оказалось, что наночастицы диоксида церия спасают клетки от разрушительного действия вирусов [9]. В опытах на культурах клеток (мышь, свинья, мартышка), инфицированных вирусом везикулярного стоматита, мы обнаружили, что НДЦ проявил противовирусную активность. Объяснить полученный результат можно, если вспомнить, что любой инфекционный процесс связан с образованием АФК. Нарушение окислительно-восстановительного баланса в клетке на фоне вирусных инфекций сопровождается развитием патологических внутриклеточных процессов. Поскольку главное свойство НДЦ — способность регулировать уровень продукции АФК и тормозить развитие окислительной дегенерации, НДЦ обеспечивает выживание инфицированных клеток.

Золи НДЦ также эффективны против действия таких внешних факторов, которые обычно сопровождаются образованием АФК или свободных радикалов. Мы исследовали влияние НДЦ на УФ-повреждение клеток тех же линий (L929 и VERO) [10], которые испытывались в опытах с перекисью водорода. Выяснилось, что наночастицы диоксида церия (размером 1–2 нм, стабилизированные цитратом натрия) обладают выраженным защитным действием против ультрафиолетового излучения. Максимально эффективным оно было, если золь  $\text{CeO}_2$  вносили за пять минут до облучения: во всем диапазоне испытанных концентраций обеспечивалась полная защита клеточного монослоя. Если золь добавляли в культуру клеток за 60 и 30 мин до облучения, все клетки остались живыми только при концентрации НДЦ 1.0–2.8 мг/мл. Примечательно, что наночастицы проявляли защитную функцию и в том случае, когда были внесены в клеточную культуру *после* УФ-воздействия (напомним, такой же результат мы получили с перекисью водорода). В итоге обработки клеток диоксидом церия в диапазоне концентраций 0.35–2.8 мг/мл через 30 мин после облучения количество сохранившихся клеток составило от 70 до 100%, а при концентрации 2.8 мг/мл золь  $\text{CeO}_2$  все клетки остались живыми, несмотря на более позднее (через 60 мин после облучения) добавление золя (рис. 7). Полученные результаты открывают, на наш взгляд, перспективу использования золь НДЦ не только в составе профилактических препаратов, защищающих клетки от УФ-облучения, но и в качестве терапевтических средств для лечения солнечных ожогов. Важно, что, в отличие от традиционных неорганических компонентов ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ), которые используются в УФ-фильтрах, НДЦ практически не обладает фотокаталитической активностью, а солнцезащитные свойства у него не хуже, чем у диоксида титана и оксида цинка [10].

Чтобы НДЦ можно было применять в медико-биологических целях, необходимо разработать способы доставки его в ту зону организма, где, на-

пример, повышено образование АФК или идет активный онкогенез. Для изучения фармакокинетики нужны также методы, которые позволили бы следить за поведением частиц в клетке.

Для адресной доставки можно закрепить на поверхности НДЦ определенные биологически активные соединения (чаще всего используют специфические белки, антитела), а для слежения — люминесцентные. Чтобы этого добиться, необходимо синтезировать сначала «голые» НДЦ

(без дополнительных органических стабилизаторов) с положительным зарядом, а потом их модифицировать. Мы научились получать гидротермально-микроволновым способом «голые» частицы  $\text{CeO}_2$  [11], к которым можно присоединять разные функциональные биомолекулы, в том числе аденозинтрифосфат, флавиномононуклеотид, фолиевую кислоту (витамин  $\text{B}_9$ ) и др. (рис.8).

Фолиевая кислота может обеспечить доставку НДЦ в зону его окислительно-восстановительно-

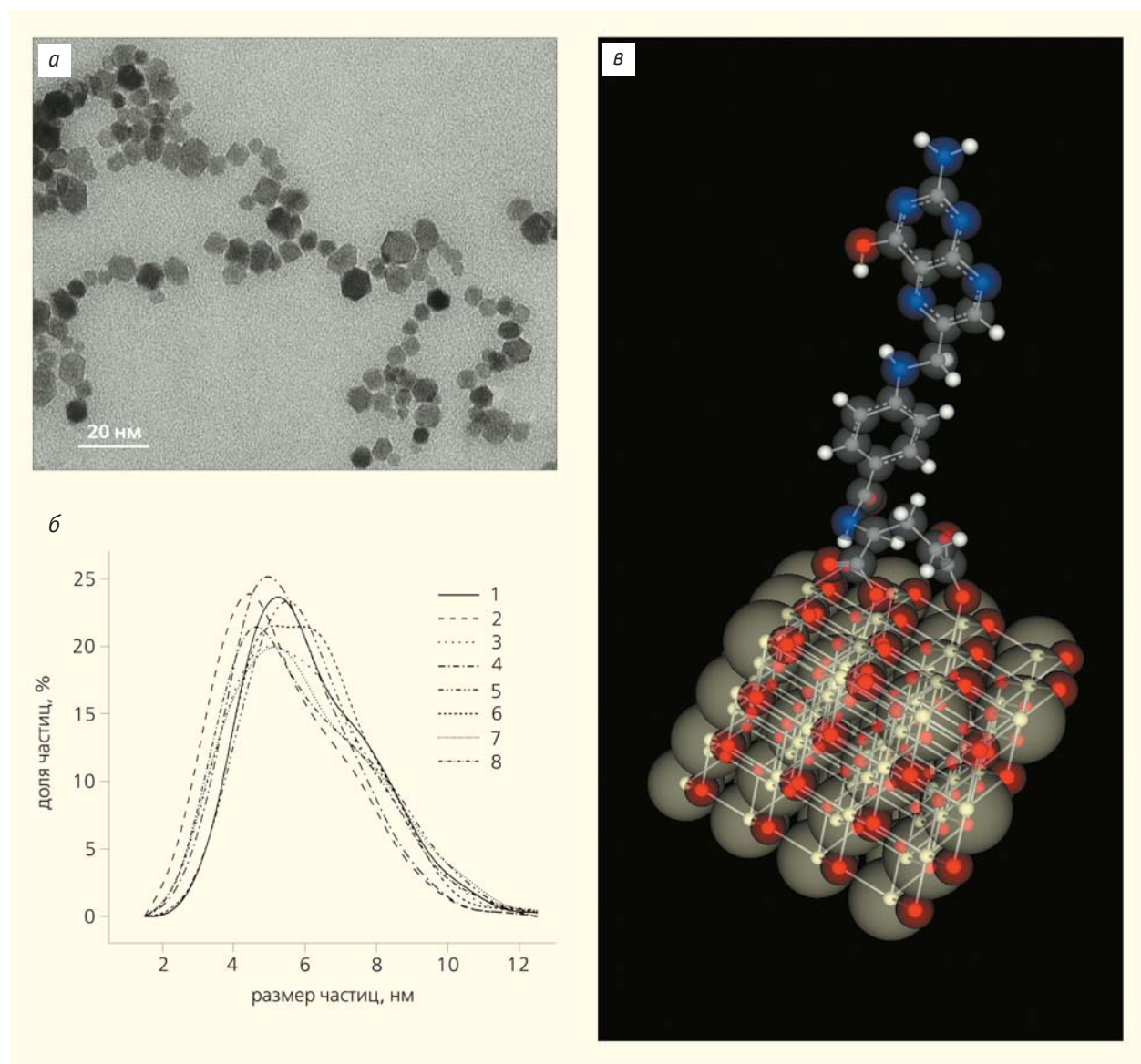


Рис.8. Микрофотография образца НДЦ, полученного гидротермальным методом (а), распределение частиц по размерам в зависимости от температуры и времени обработки (б) и модель кластера диоксида церия (размером 1 нм) с адсорбированной фолиевой кислотой (в). Видно, что птериновый фрагмент ее молекулы направлен в сторону от частицы и стерически свободен. За счет такой ориентации, во-первых, повышается устойчивость НДЦ в растворе (фолиевая кислота служит стабилизатором золя) и, во-вторых, молекула фолиевой кислоты своей «активной частью» может взаимодействовать с фолат-рецепторами. Полученная композиция частица—молекула (конъюгат) будет способна проникать в зону онкогенеза и уничтожать раковые клетки. Распределение частиц установлено при следующих условиях (°С, мин): 1 — 170, 180; 2 — 130, 180; 3 — 130, 30; 4 — 170, 30; 5 — 150, 180; 6 — 190, 180; 7 — 190, 120; 8 — 190, 30.



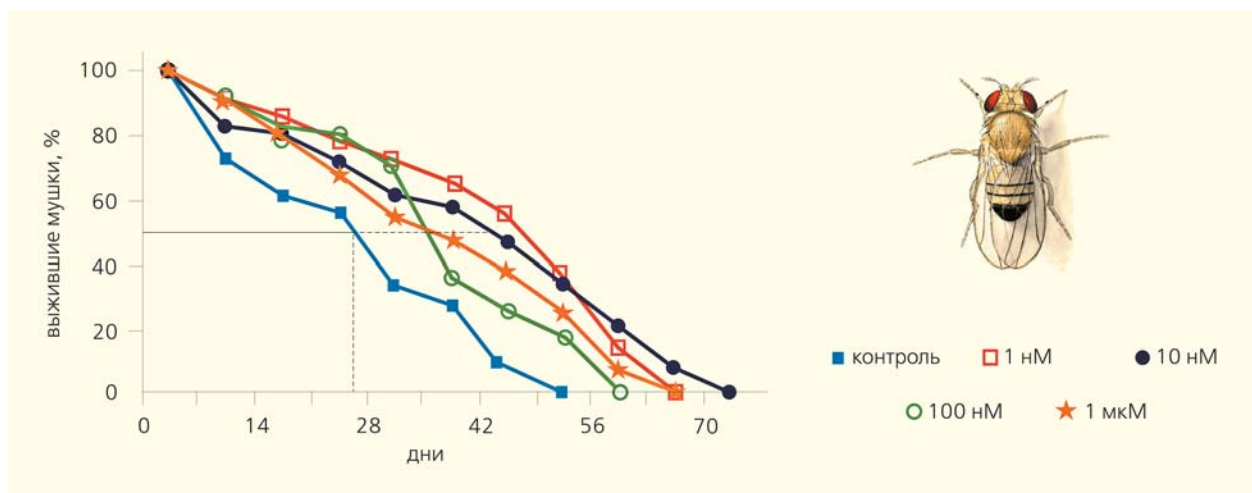


Рис.9. Влияние НДЦ на продолжительность жизни мужских особей дрозофилы. Виден рост этого показателя, причем его зависимость от концентрации НДЦ во всем ее диапазоне немонотонно. Пунктирные линии — время 50%-й гибели колонии мушек. Это время увеличивается почти в два раза при добавлении в корм дрозофилам 10 нМ наночастиц диоксида церия — 26 дней для контрольных мушек (голубая кривая) и 44 дня для экспериментальных (синяя кривая). А кривых-то пять штук!

го действия, скажем, при онкогенезе. Отметим, в редокс-терапии злокачественных опухолей — нового, многообещающего направления — НДЦ представляется весьма привлекательным. С одной стороны, наночастицы диоксида церия, инактивируя АФК, могут повысить эффективность и облегчить последствия химио- и радиотерапии злокачественных новообразований. С другой стороны, сам НДЦ может оказаться лечебным средством, поскольку его окислительно-восстановительные свойства зависят от условий среды, в частности от ее кислотности (величины pH). Если у нормальных тканей величина pH больше 7 (обычно 7.4), то у раковых цитоплазма закислена (pH < 7, вплоть до pH 6). В слабокислой среде НДЦ не только не защищает от окислительного стресса, возникающего, например, при радиотерапии, но и сам становится окислителем (выполняет функцию фермента из группы оксидаз).

Наночастицы с закрепленной на поверхности фолиевой кислотой рано или поздно будут захвачены раковой клеткой и выполнят окислительную функцию. Но только в том случае, если фолиевая кислота закреплена правильно. Самый простой способ проверить положение молекулы, адсорбированной на поверхности частицы, — создать модель системы молекула—частица и определить энергетически выгодные состояния. Или просто посмотреть геометрию частицы и молекулы: не затруднен ли доступ к молекуле (особенно к ее фрагментам, необходимым для связывания с рецептором). Для этого тоже нужна модель в атомных пропорциях. Создав, например, модель кластера  $\text{Ce}_{57}\text{O}_{86}$  (это соответствует частице состава  $n\text{Ce}_2\text{O}_3$ ) с закрепленной

молекулой фолиевой кислоты, можно видеть, что ее расположение отвечает желаемому: птериновый «хвост» направлен в сторону от частицы и свободен для связывания с фолат-рецептором (см. рис.8).

В начале статьи мы упоминали о накоплении и роли АФК и свободных радикалов при старении организма. Влиянию НДЦ на максимальную продолжительность жизни клеток и целого организма посвящено много работ, их обзор представлен в одной из наших публикаций [2]. Приведенные в литературе данные свидетельствуют, что введение наночастиц  $\text{CeO}_2$  значительно повышает жизнеспособность целого ряда клеток головного мозга, включая астроциты, нейроны, микроглиальные клетки и олигодендроциты. В присутствии НДЦ морфологические и биохимические характеристики всех этих клеток сохраняются в течение 6–8 мес, тогда как в обычных условиях продолжительность жизни аналогичных культур не превышает 26–30 дней. Отмечается, что использование микрокристаллического диоксида церия, а также нанокристаллических порошков оксидов других металлов (включая празеодим, лантан, титан и рутений) не приводит к подобному эффекту.

Введением наночастиц  $\text{CeO}_2$  в пищу плодовой мушки (*Drosophila melanogaster*) удавалось добиться увеличения ее средней и максимальной продолжительности жизни [12] (рис.9). Кроме того, вырос и временной период до 50%-й смерти колонии мушек, у группы дрозофил сохранился нормальный геотаксис\*, обычно снижающийся при старении. В опытах выяснилось, что дозы,

\* Геотаксис — это перемещение, ориентированное относительно силы земного притяжения.

в 100 раз превышающие необходимые для увеличения срока жизни, нетоксичны для дрозофилы.

\* \* \*

В заключение остается отметить, что необходимость защиты живого от окислительного разрушения с каждым годом возрастает. В ряду веществ и материалов, обеспечивающих антиоксидантную защиту, особое место, судя по множеству работ в этом направлении, принадлежит нанокристаллическому диоксиду церия. Подтвержде-

нием тому могут служить его способности регулировать процессы, связанные с образованием АФК и окислительным стрессом, нетоксичность и полифункциональность. Как видно из этой статьи, НДЦ обладает целым рядом уникальных и полезных свойств. Однако, несмотря на успехи применения нанокристаллического диоксида церия в радикальной наномедицине и нанофармацевтике, механизм его действия на биологические объекты досконально еще не изучен. Но, несомненно, этот материал имеет большое будущее. ■

**Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проект №08-03-00471а.**

## Литература

1. Catalysis by Ceria and Related Materials / Ed. A.Trovarelli. Singapore, 2002.
2. Иванов В.К., Щербаков А.Б., Усатенко А.В. Структурно-чувствительные свойства и биомедицинские применения нанодисперсного диоксида церия // Успехи химии. 2009. Т.78. №9. С.924—941.
3. Baranchikov A. E., Polezhaeva O.S., Ivanov V.K., Tretyakov Y.D. Lattice expansion and oxygen non-stoichiometry of nanocrystalline ceria // CrystEngComm. 2010. V.12. №11. P.3531—3533.
4. Tsunekawa S., Sivamoban R., Obsuna T., Takahashi H., Tohji K. Ultraviolet absorption spectra of CeO<sub>2</sub> nano-particles // Mater. Sci. Forum. 1999. V.315—317. P.439—445.
5. Полежаева О.С., Иванов В.К., Щербаков А.Б. и др. Синтез и биомедицинские применения нанокристаллического диоксида церия // Тез. конф. «Нанотехнологии в онкологии». М., 2009. С.55.
6. Иванов В.К., Полежаева О.С., Шапоров А.С. и др. Синтез и исследование термической устойчивости зольей нанокристаллического диоксида церия, стабилизированных лимонной и полиакриловой кислотами // Журн. неорганической химии. 2010. Т.55. №3. С.368—373.
7. Иванов В.К., Щербаков А.Б., Рябоконт И.Г. и др. Инактивирование нитроксильного радикала наночастицами диоксида церия // Докл. РАН. Химия. 2010. Т.430. №5. С.639—642.
8. Иванов В.К., Усатенко А.В., Щербаков А.Б. Антиоксидантная активность нанокристаллического диоксида церия по отношению к антоцианам // Журн. неорганической химии. 2009. Т.54. №10. С.1596—1601.
9. Жолобак Н.М., Олевинская З.М., Спивак Н.Я. и др. Антивирусное действие наночастиц оксида церия, стабилизированных низкомолекулярной полиакриловой кислотой // Микробиол. журн. 2010. Т.72. №3. С.42—47.
10. Zholobak N.M., Ivanov V.K., Sbcherbakov A.B. et al. UV-shielding property, photocatalytic activity and photocytotoxicity of ceria colloid solutions // J. Photochem. Photobiol. B. 2011. V.102. P.32—38.
11. Иванов В.К., Полежаева О.С., Гиль Д.О. и др. Гидротермально-микроволновой синтез нанокристаллического диоксида церия // Докл. РАН. Химия. 2009. Т.426. №5. С.632—634.
12. Coben C.A., Karfakis J.A., Kurnick M.D., Rzigalinski B.A. Cerium oxide nanoparticles reduce free Radical-mediated toxicity in drosophila melanogaster // Free Radic. Biol. Med. 2007. V.43. S.68.

# Почвы Антарктиды

Е.В.Абакумов, В.А.Крыленков

Когда стало известно, что мы идем в Антарктиду в составе Российской антарктической экспедиции, большинство наших коллег с биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета задавали один и тот же вопрос: «А что, разве в Антарктиде есть почвы?». Мы были готовы к такому вопросу от коллег, допустим, с кафедр генетики или биофизики, но никак не ожидали его от почвоведов, причем не только с родной кафедры, но и от многих представителей этой науки из других городов. Оказалось, что лишь немногие специалисты допускают существование почвенного покрова в Антарктиде!

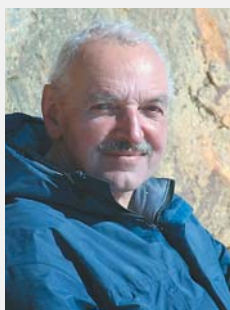
И в самом деле, мы до обидного мало знаем о почвах Шестого континента, хотя материк этот открыли именно русские мореплаватели, а участники Советских и Российских антарктических экспедиций, исследуя природу его ландшафтов, внесли огромный вклад в мировую науку. Да и сама история изучения почв Антарктиды уже насчитывает около 100 лет.

Первое краткое описание почв Антарктиды дал Х.Иенсен, участник экспедиции Э.Шеклтона (1907—1909), показавший сам факт существования почв на суше в районе моря Росса. Затем, после весьма продолжительного перерыва, изучение антарктических почв продолжил в 1957—1958 гг. К.К.Марков, описавший примитивные почвенные образования в оазисе

© Абакумов Е.В., Крыленков В.А., 2011



**Евгений Васильевич Абакумов**, кандидат биологических наук, старший преподаватель и старший научный сотрудник кафедры почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета, ведущий инженер в Российских антарктических экспедициях. Область научных интересов связана с почвообразованием в разных условиях.



**Вячеслав Александрович Крыленков**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета, участник Российских антарктических экспедиций. Занимается изучением биологического разрушения строительных материалов и инженерных конструкций в Антарктике.

Бангера. Тогда же начались систематические исследования почв американскими, канадскими, новозеландскими специалистами, позднее почвообразованием в Антарктике заинтересовались китайцы, японцы, аргентинцы и украинцы.

Систематически почвы стали изучать в окрестностях российских антарктических станций по нашей инициативе лишь спустя 99 лет после первого описания почв Шестого континента. Мы обследовали почвы Антарктиды в районах расположения российских станций Новолазаревская, Молодежная, Прогресс, Дружная-4, Мирный, Ленин-

градская и Русская (оазисы Молодежный, Холмы Ларсеманн, Ширмахера и др.), в окрестностях островной станции Беллинсгаузен. Описали также почвы прибрежной зоны вблизи гор Хадсон и на о.Линдси (горы Мозес и нунатак Мэйш), вот уже более 30 лет не посещавшиеся человеком.

Хотя Антарктида практически сплошь покрыта льдами и снегами, на этом материке есть относительно обширные, свободные ото льда и снега участки суши. Эти так называемые оазисы, нунатаки, сухие долины и острова занимают не менее 55 тыс. км<sup>2</sup> (эта оценка до

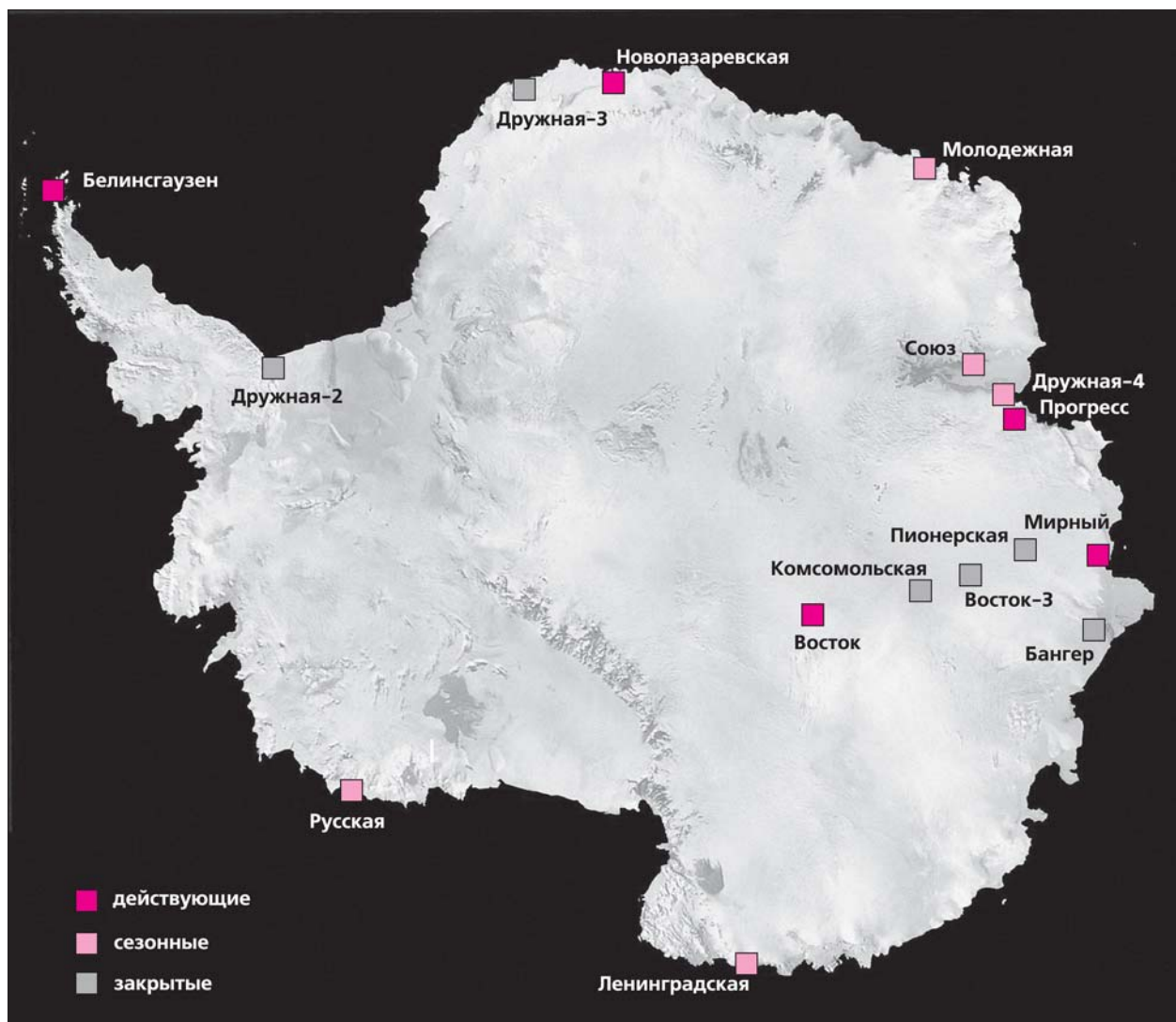


Схема расположения российских антарктических станций.

сих пор не окончательно), где по условиям возможно почвообразование. По сути, такая территория соизмерима с площадью, например, Нидерландов (41 526 км<sup>2</sup>) или Чешской Республики (79 тыс. км<sup>2</sup>), что говорит о значении этих участков суши в формировании ландшафтов Антарктиды.

В пределах антарктического материка выделяется несколько климатических регионов: субантарктический, береговой и континентальный, который исследователи делят на горный и район сухих долин. Эти участки суши отличаются по климату, составу горных пород, формам ре-

льефа и биоте. Так, для Субантарктики характерны тундры и тундропустоши, для берегового региона — тундропустоши и холодные пустыни, для континентального — типичные полярные пустыни с очень редким растительным покровом. Среднегодовые температуры в Субантарктике минус 1°C, в береговом регионе — минус 8°C и значительно ниже — в континентальных ландшафтах. Годовое количество осадков колеблется от 50 мм в снежно-застружных ландшафтах континента до 700 мм на севере архипелага Южно-Шетландских о-вов. Скорость ветра в Антарктиде сильно ограничи-

вает процессы почвообразования. Так, в районе станции Беллинггаузен она может достигать 40 м/с, а в окрестностях станции Русская — доходить до 70 м/с с лишним. Конечно, в таких условиях формирование полноценного почвенного покрова ограничено не только скудной растительностью, но и чисто физико-механическими причинами.

В окрестностях российских полярных станций мы обнаружили интересные особенности почвообразования. Оказалось, что антарктические почвы, своеобразные «острова» посреди «океана» снега и льда, не формируют непрерывного





Ареалы петроземов в «океане» снега и льда (нунатак Ленинградский вблизи Трансантарктических гор).

покрова, поскольку прерываются снежниками и ледниками и на них отсутствует растительный покров. Это дает уникальную возможность изучать раздельно ареалы распространения каждого вида почв и усматривать «видовую» спе-

*цифичность почвенного тела и его пространственную организацию.*

Вопреки распространенному мнению об исключительной маломощности и примитивности почв Антарктиды морфологическое разнообразие типов почв

здесь довольно велико. Максимально оно в субантарктических тундрах-тундропустошах: это криоземы (почвы с признаками морозного перемешивания материала), литоземы и петроземы (маломощные почвы на плотных скальных породах), торфяные почвы (болотного типа, с толщиной органогенного горизонта до 100 см), стратифицированные слоистые почвы долин, солончаки (прибрежные засоленные почвы).

В береговой и континентальной зонах разнообразие почв резко снижается. Здесь обнаружены маломощные литоземы и петроземы под лишайниками и мхами, а также под водорослями, причем органический материал слабо участвует в формировании почв. Таким образом, в Антарктиде есть почвы, характерные и для других континентов. Несмотря на ограниченность ареалов их распространения, они подчиняются общим географическим закономерностям.

Отличительная особенность антарктических почв — это ши-



Тундровый ландшафт о.Кинг-Джордж, почва — литозем серогумусовый.



Маломощная почва — петрозем — на скале (под лишайниками) в районе станции Русская.



рокое распространение органо-генных почв, сформировавшихся под слоями гуано пингвинов. Точнее, это не совсем почвы, а органо-минеральные почвоподобные тела, в которых минеральная часть интенсивно преобразуется под воздействием продуктов разложения гуано. Его состав чрезвычайно разнообразен, так как одни виды пингвинов питаются только растительной пищей, а другие употребляют и рыбу. Раскопанные нами толщи гуано в Антарктиде составляли чуть более 1 м. Поскольку гуано очень медленно трансформируется в высоких широтах (где низкая биологическая продуктивность) и быстро срабатывается в низких широтах Антарктиды, органо-генные почвы различаются по окраске: от светло-бурых до темно-серых тонов, отражающих степень трансформации минерального компонента.

*Распространение так называемой зоопочвы в Антарктиде наряду с «растительными» полностью зависит от субсидирования ландшафта органическим веществом гуано, которое поставляют не только птицы, но и многие млекопитающие. Почвы под их экскрементами — объект наших будущих исследований.*

Существование земноводных почв озер указывает на уникальную форму почвообразования. Она характерна для непокрытых ледниками и снежниками обширных территорий Антарктики (Холмы Ларсеманн, оазис Ширмахера, Молодежный и др.) с пресноводными и слабосоленоватыми озерами, не замерзающими зимой. Дно этих озер занимают бактериальные и микробно-водорослевые маты, обогащающие донные грунты органическим веществом. Летом площадь озер резко уменьшается из-за интенсивного испарения воды. Обширные территории антарктического побережья составляют так называемую дневную поверхность, где температура грунта обычно близка



Самые южные зоопочвы планеты Земля (о.Линдси, Западная Антарктика).

к температуре воздуха, а органическое вещество в ходе почвообразования трансформируется в аэробных условиях. Так формируются органо-аккумулятивные почвы с выраженными глеевыми горизонтами, причем осенью эти почвы опять стано-

вятся подводными, т.е. аквапочвами. *Антарктида — характерное место распространения земноводных почв!*

В Антарктиде имеются и безгумусовые почвы — реголиты, которые характерны и для сухих безводных пустынь Южной Аме-



Типичная земноводная почва — глеезем под водорослевым матом в оз.Рэйд (холмы Ларсеманн, недалеко от станции Прогресс).



Реголит — безгумусная почва у станции Дружная-4.



Поверхностная аккумуляция органического вещества под лишайником. Микронзондовая фотография.

рики, Африки и Тибета. Такие поверхностные образования найдены также на Луне и Марсе. Реголиты — это не совсем почвы, так как не содержат в себе признаков накопления органического вещества, органо-минеральных взаимодействий, четкой горизонтной организации. Но вместе с тем они подвержены выветриванию, разрушению минеральной части, дифференциации на слои по цвету, составу, химизму. Именно наличие таких псевдопочвенных образований на поверхности Земли указывает на единство механизмов формирования дневной поверхности планет Солнечной системы. Мы нашли реголиты в местах расположения станций Прогресс (Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) и Русская (Западная Антарктика). *Неслучайно основные методологические приемы астропедологии (науки о почвах на других планетах) связаны с поиском и изучением процессов образования реголитов именно в Антарктиде.*

При изучении срезов обломков горных пород исследователи регулярно обнаруживают со-

общества синезеленых водорослей и грибов внутри камня, которые получили название эндолитных микробных сообществ. Описаны также гиполитные образования — скопления живых микроорганизмов под камнями, что особенно характерно для ландшафтов с суровыми климатическими условиями — сухих долин с очень сильными ветрами. Жизнь здесь как бы уходит в камень или под него. Изучая химический состав и микроструктуру скоплений эндолитных образований, мы выявили в них слои, различающиеся по химизму, минералогии и внешнему виду — эндолитные почвоподобные тела (или эндолитные почвы). В дальнейшем нашли специфические эпилитные почвы на поверхности обломков горных пород. Эндолитные и эпилитные почвы служат примером медленно развивающейся стадии начального почвообразования, иными словами — предтечей слаборазвитых почв. *Изучение таких почвоподобных образований очень важно для раскрытия сущности онтогенеза почв вообще.*

\* \* \*

Наше участие в серии Российских антарктических экспедиций позволило не только описать антарктические почвы, но и исследовать условия их образования. Это особенно интересно для понимания механизмов формирования косных и биотических компонентов природных полярных ландшафтов, а также их взаимодействия и участия в морфологической организации таких ландшафтов.

Изучение разнообразных почв Антарктиды в будущем позволит выявить основные механизмы почвообразования в суровых условиях на Земле и других планетах. Всестороннее исследование почв Антарктики поможет раскрыть роль почвообразования в приспособлении растений к наземным условиям жизни в суровых приледниковых ландшафтах, что необходимо для понимания эволюции экосистем и растительного мира. Почвы Антарктиды — новый и весьма информативный объект для изучения географии почв и экологии биосистем. ■



# Маршрут глиною в ДНК

С.В.Дробышеский,

кандидат биологических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

**В** живописной долине р.Ануй на Алтае, напротив суровой горы Дедка, в основании горы Бабка зияет зев Денисовой пещеры. Она не слишком большая, но и маленькой ее назвать нельзя. Расположена пещера крайне удачно — в каменном веке, она, наверное, претендовала на статус уютного и комфортабельного жилища. Поэтому со времени около 300 тыс. лет назад (фактически с момента заселения Южной Сибири) люди проживали тут практически непрерывно, вплоть до нашей эры. Этот факт, в свою очередь, стал причиной повышенного внимания к Денисовой пещере со стороны современных археологов. Десятки лет раскопок дали уникальный материал, позволяющий судить о перипетиях жизни наших пращуров. В числе многого прочего нашли и останки самих этих пращуров. К сожалению, сохранилось от них крайне немного: три зуба и маленькая косточка пальца.

Два зуба с архаичной морфологией, найденные еще в 1984 г. в разных слоях, датированные 60 и 120 тыс. лет назад, описывались как «неандерталоиды». Но сегодня гораздо больший интерес вызвали новейшие исследования другого зуба — третьего левого верхнего моляра — и последней фаланги мизинца, обнаруженных в более молодом слое, с датировкой от 50 до 30 тыс. лет назад. Строение фаланги не слишком информативно. Моляр очень большой и имеет ряд примитивных признаков, типичных скорее не для неандертальцев, а для более архаичных гоминид. Впрочем, делать

эволюционные и таксономические выводы на основе изучения единичных зубов — крайне рискованное и неблагодарное занятие. Например, если принять, что указанный зуб из Денисовой пещеры — не третий, а второй моляр, то он «станет» гораздо более неандерталоидным. К тому же известна значительная индивидуальная и расовая изменчивость зубов среди современных людей; почему же таковой не могло быть и у неандертальцев? Посему столь фрагментарные останки людей, обнаруженные в Денисовой пещере, не слишком вдохновляли антропологов на сколь-либо широкие обобщения.

Ситуация кардинально изменилась с появлением методики выделения ДНК из ископаемых костей. Любая часть скелета включает тысячи и тысячи кле-

ток с копиями главной органической молекулы, в которой записана вся история предыдущих поколений. Зубы в этом отношении — самая ценная часть скелета, потому что прочная эмаль защищает их от внешних влияний, бактериальных загрязнений и, что немаловажно, от ДНК самих исследователей — археологов, антропологов и генетиков, через чьи руки проходят находки. Конечно, сложностей в выявлении, расшифровке и интерпретации древней ДНК чрезвычайно много. Кроме чисто технических это упомянутые загрязнения чужими ДНК, изменения со временем исследуемой ДНК, ее плохая сохранность и фрагментарность, неопределенная скорость мутаций.

Одна из самых больших проблем — пока все еще малое количество изученных древних



Зуб из Денисовой пещеры очень большой и имеет ряд примитивных признаков, типичных для архаичных гоминид [2].



образцов ДНК. Как ни удивительно, довольно много исследовалась ДНК неандертальцев, но крайне мало известно о ДНК древнейших людей современного вида, хотя потенциальных возможностей здесь сколько угодно [1]. В итоге ДНК неандертальцев сравнивается с современной без учета ДНК наших предков, живших синхронно с неандертальцами и в промежуточном временном отрезке — от 40 тыс. лет назад до современности. Тем более ничего не известно о ДНК людей, предшествовавших неандертальцам, так как из-за слишком большой древности она просто не сохранилась (или ее пока не научились выделять). Так что выводы о расхождении линий неандертальцев и сапиенсов генетики вынуждены делать, сравнивая и тех, и других с шимпанзе! С позиции классической антропологии это выглядит по меньшей мере странно (сравнение скелетных параметров типа «шимпанзе — неандерталец — современный человек» — классика XIX и начала XX в., но в современном исследовании выглядело бы анахронично). При таком наборе данных далеко не всегда ясно, какие варианты генов более древние, какие — новые, и уж тем более непонятно, когда они стали такими, какими мы их видим сейчас.

Фактически современная палеогенетика дает некое схематичное древо расхождений основных филогенетических ветвей, на котором достаточно достоверна последовательность расхождений, но нет абсолютных датировок. Временные оценки возникновения тех или иных мутаций, приводимые генетиками, весьма приблизительны и их никак нельзя принимать как точные. Отдельная проблема современной генетики и тем более палеогенетики — это неизвестное значение подавляющего количества мутаций. Может быть известно, что некий ген ответственен за синтез определенного белка или же что наруше-

ние работы некоего гена ведет к определенному заболеванию, но как проявляются в жизни человека наглядные последствия работы нормального варианта гена, как правило, остается неизвестным. Это вызвано тем, что почти каждый внешний признак и уж тем более каждая особенность поведения зависят от действия сразу множества генов; оценить их совокупную работу — крайне сложно.

Классический палеоантрополог находится в выигрышном положении: когда он, например, оценивает ориентацию барабанной пластинки височной кости, он фактически оперирует десятками, если не сотнями генов и проводит по сути многомерный анализ огромного генетического комплекса. Но когда генетики разберутся с действительным назначением большинства генов и смогут достоверно оценивать их взаимодействие, генетика окажется «на коне». Одинаково выглядящие признаки запросто могут быть обусловлены разными генами. В этом случае палеоантрополог может быть введен в заблуждение ложным сходством, или, по крайней мере, его выводы будут всегда достаточно неопределенными. Генетик же точно скажет, что гены — разные, а значит, сходство — лишь внешнее, и родство — отдаленное. К сожалению, пока это дело будущего, а в настоящее время определенности в выводах генетиков не больше, чем в выводах палеоантропологов.

Но вернемся к людям из Денисовой пещеры. Из моляра и фаланги мизинца группа генетиков под руководством Сванте Паабо получила митохондриальную ДНК (мтДНК), а из той же фаланги — ядерную [2]. Митохондриальная ДНК наследуется только по женской линии и потому не рекомбинирует (мтДНК отца и матери не смешиваются), она ничего не кодирует за пределами митохондрий, и естественный отбор на нее почти не действует; т.е. она не отражает

смешений и метисаций, по ней можно судить только о родстве по женской линии. Анализ мтДНК людей из Денисовой пещеры дал неожиданный результат: оказалось, что последняя общая «митохондриальная пра-матерь» их с неандертальцами и современными людьми жила около миллиона лет назад, тогда как линии неандертальцев и сапиенсов разошлись всего 500 тыс. лет назад (опять напомним, что оценки датировок по генам — вещь весьма рискованная, но соотношение дат все равно впечатляет). Иначе говоря, «денисовцы» отличались от неандертальцев столь же сильно, сколь и от нас [3].

Предположили даже существование отдельного эндемичного вида «денисовских» людей, хотя исследователи предусмотрительно не дали им нового систематического названия, учитывая полное отсутствие морфологического обоснования. Предполагалось, что «денисовцы» могут быть:

- независимыми потомками вида *Homo antecessor* — предков *Homo heidelbergensis*, которые, в свою очередь, являются предками неандертальцев;

- потомками независимых мигрантов из Африки — потока, происшедшего позже первого исхода (около 1.9–1.4 млн лет назад), но раньше того, что дал современных сапиенсов (по разным оценкам — от 100 до 40 тыс. лет назад);

- потомками древнейших азиатских эректусов.

Однако все эти построения крайне шатки. Вид *Homo antecessor* известен пока только из одного местонахождения в Испании, и его валидность (обоснованность самостоятельного статуса) признают далеко не все антропологи. Миграции из Африки наверняка происходили многократно. Предположение же о родстве «денисовцев» с эректусами типа классического питекантропа, если честно, ни на чем не основано. Да и нет никаких данных о мтДНК *Homo*

*antecessor, Homo erectus* и прочих людях, более древних, чем поздние неандертальцы.

Новое исследование связано с расшифровкой более информативной ядерной ДНК. Согласно анализу огромного количества генетических сходств и отличий, выяснилось, что популяции неандертальцев и сапиенсов разошлись 270—440 тыс. лет назад (позже, чем жила общая «митохондриальная прама́терь», поскольку в ядерной ДНК отражается смешение групп, ведь она наследуется не исключительно по женской линии). «Денисовцы» по ядерной ДНК оказались все же гораздо ближе к неандертальцам, чем к сапиенсам: сначала разошлись линии сапиенсов и общих предков неандертальцев с «денисовцами», а несколько позже — линии неандертальцев и «денисовцев». Отличие от данных по мтДНК можно объяснить либо тем, что «денисовский» вариант мтДНК «потерялся» в перипетиях сложной судьбы неандертальцев (например, во время резкого сокращения численности из-за похолодания), либо тем, что «денисовцы» получили его в результате более поздней метисации с какими-то пока неизвестными нам людьми по пути на Алтай или уже на самом Алтае [4].

Палеолитические орудия, обнаруженные в разных слоях Денисовой пещеры, относятся к достаточно стандартному мустье (культуре неандертальцев) в нижних уровнях и к верхнему палеолиту (культуре древнейших сапиенсов) в верхних отложениях [5]. Интересно, что в 11-м слое, в котором нашли моляр и фалангу, послужившие источником ДНК для исследования, мустье довольно плавно перетекает в верхний палеолит, между ними нельзя найти резкой грани, столь типичной для памятников Европы. Это может объясняться смешанностью слоя (тем более что слой накапливался в течение десятков тысяч лет), но не исключено, что тут мы наблюдаем культурную

преемственность или взаимовлияние «денисовцев» и сапиенсов. В этом смысле показательно, что ранее расшифрованный митохондриальный геном подростка из пещеры Окладникова на Алтае оказался типично неандертальским (обломки плечевой и бедренной кости возрастом 30—38 тыс. лет), тогда как у взрослого человека из той же пещеры геном был современным (его плечевая кость датирована временем 24 тыс. лет назад). Эти и другие кости и зубы из пещеры Окладникова ассоциированы с поздним мустье, но не имеют морфологических признаков, позволивших бы отнести их к неандертальцам, хотя в строении костей подростка отмечались архаичные черты. В ближайшем местонахождении с костями древнего человека, из которых извлекли мтДНК, — Тешик-Таше (Узбекистан, датировка неопределенная), тоже оказавшаяся типично неандертальской. Таким образом, в период 40—20 тыс. лет назад на Алтае и в близких регионах могли жить три варианта людей, изготавливавших мустьерские орудия: «денисовцы»; люди, идентичные неандертальцам по мтДНК, но почти современные анатомически; и (чуть позже) — типичные сапиенсы. Не много ли? А может, такая ситуация отражает как раз смешение сапиенсов с более древними абorigенами Азии?

Особенно интересные выводы генетиков относительно сходства ядерного генома древних обитателей Денисовой пещеры и современных жителей Меланезии — папуасов и абorigенов о.Бугенвиль. Путем сложных расчетов пришли к выводу, что у современных меланезийцев примерно 4.8% общих генов с «денисовцами», тогда как другие люди планеты их не имеют вовсе. К этому следует прибавить 2.5% генов, доставшихся меланезийцам от неандертальцев (так же, как и всем прочим «неафриканцам», ибо африканские негроиды — единственные «чистокров-

ные» сапиенсы на планете, остальные, согласно новейшим расчетам, имеют неандертальскую примесь). В итоге примерно 7.4% генов (сумма не сходится из-за неравных оценок погрешности) меланезийцы получили по пути на свои острова от древнейших абorigенов Европы (неандертальцев) и Азии («денисовцев»). Конечно, это не значит, что предки папуасов непременно прошли через Алтай, что практически невероятно. Суть в том, что гены «денисовцев» были распространены и в других древних азиатских популяциях, в том числе тех, кто жил на берегу океана, на пути следования предков меланезийцев.

Такие построения генетиков не могут не вызвать удивления классических антропологов. Дело в том, что меланезийцы, хотя и были всегда сильно обособлены географически, никогда не были изолированы абсолютно. У них должно быть значительное родство с австралийскими абorigенами\* и веддоидными племенами Индии, а также Шри-Ланки, Калимантана и ряда других островов. Полинезийцы и микронезийцы по всем данным имеют примерно половину меланезийских генов, а генный дрейф от меланезийцев в южноазиатские популяции виден невооруженным взглядом по лицам жителей Индонезии и Юго-Восточной Азии. Кроме того, меланезийцы не ограничиваются папуасами и бугенвильцами, было бы странно, что лишь эти две группы имеют примесь «денисовских» генов; другие же группы меланезийцев живут в Малакке, на Филиппинах, на Андаманских о-вах, в юго-восточной Индонезии, а до исторического времени жили в самых разных местах Юго-Восточной Азии. Таким образом, «денисовские» гены непременно должны встречаться не только у папуасов и бугенвильцев,

\* На эту тему есть фактически противоположные точки зрения — от признания теснейшего родства до утверждения почти независимого происхождения.



Реконструкция человека со стоянки Костенки 14 (Маркина Гора). Справа — папуас с о-ва Новая Гвинея.

но и у прочих обитателей обширнейшего региона.

К сожалению, в статье, описывающей геном людей из Денисовой пещеры, не указано, какие конкретно популяции изучались, сказано лишь, что «неафриканских» геномов было 44. Специальное подробное исследование отдельных геномов показало, что у монголов и китайцев «денисовских» генов нет, хотя их присутствие было бы логично, учитывая упомянутую возможность культурного взаимодействия «денисовцев» и первых алтайских сапиенсов. С другой стороны, митохондриальный геном верхнепалеолитического человека из Костенок 14 в Воронежской обл. (30 тыс. лет назад) типично сапиентный. А ведь этот индивид — великая загадка палеоантропологии, поскольку по строению черепа он удивительно схож с современными меланезийцами! Было бы

крайне интересно проанализировать его ядерную ДНК, поскольку мтДНК не имеет хорошей «разрешающей способности» при различении рас современных людей. Конечно, не стоит рисовать путь предков современных папуасов чересчур сложным — из Африки через Алтай, потом назад — в Воронежскую обл., а оттуда на острова Тихого океана. Просто схожие люди могли распространяться в разных направлениях в разное время, а мы находим лишь мелкие кусочки мозаики их перемещений.

Примечательно, что множество ранее проведенных исследований геномов современных людей привело генетиков к созданию гипотезы «африканской Евы», или «концепции замещения». Один из важнейших ее пунктов гласит: расселявшиеся из Африки сапиенсы совсем не смешивались с местными груп-

пами древних гоминид. Следы такого смешения специально искали, но до сих пор достоверно и четко их никто не мог обозначить, хотя сомнения в полной чистокровности нашего вида были всегда. Лишь в 2010 г., в ходе анализа почти полного ядерного генома неандертальцев, выяснилось, что неафриканские популяции современных людей имеют от 1 до 4% неандертальских генов. Исследование генома древних людей из Денисовой пещеры стало революционным, поскольку показало, что не одни неандертальцы внесли свой вклад в современный генофонд, а «концепция замещения» не столь абсолютна, как это казалось генетикам предыдущие 20 лет. Можно ожидать, что изучение большего количества современных и древних людей откроет еще немало источников разнообразия современного человека. ■

## Литература

1. Green R.E., Krause J., Briggs A.W. et al. A draft sequence of the Neandertal genome // Science. 2010. V.328. P.710—722.
2. Reich D., Green R.E., Kircher M. et al. Genetic history of an archaic hominin group from Denisova Cave in Siberia // Nature. 2010. V.468. P.1053—1060.
3. Krause J., Fu Q., Good J.M. et al. The complete mitochondrial DNA genome of an unknown hominin from southern Siberia // Nature. 2010. V.464. P.894—897.
4. Соколов А.Б. Найден древнейший *Homo sapiens*!!! Сенсация?.. // <http://antropogenez.ru/single-news/article/45>
5. Деревянко А.П., Шуньков М.В., Агаджанян А.К. и др. Природная среда и человек в палеолите Горного Алтая. Новосибирск, 2003.
6. Krause J., Orlando L., Serre D. et al. Neanderthals in central Asia and Siberia // Nature. Advance online publication 30.09.2007; doi:10.1038/nature06185

# Республика не нуждается в ученых Гибель Лавуазье

И.С.Дмитриев

Имя Антуана Лорана Лавуазье (*A.L.Lavoisier*, 1743—1794), великого реформатора химии, ныне известно каждому образованному человеку. Ученый прожил яркую жизнь, которая трагически оборвалась решением Революционного трибунала, приговорившего его к смертной казни как члена Генерального откупа (о чем речь далее). В отечественной литературе советского времени (а за последние 20 лет новых биографий Лавуазье в России не издавалось) его участие в делах Генерального откупа оценивалось крайне негативно. Так, по словам Н.А.Фигуровского, Лавуазье разделял «свои силы, энергию и время между благородными занятиями наукой и темными финансовыми операциями, типичными для капиталистов, не стеснявшихся в выборе средств для умножения их богатств» [1. С.355].

Сейчас, когда история Французской революции коренным образом переосмысливается, настало время рассказать об этом трагическом эпизоде детальной и без идеологической предвзятости, с учетом дошедших до нашего времени литературных и архивных источников\*.

\* Краткая заметка о гибели Лавуазье публиковалась в «Природе». См.: *Гельман З.Е.* Жизнь г-на Лавуазье (Встречи с забытым). 1991. №11. С.125. — *Примеч. ред.*

© Дмитриев И.С., 2011



**Игорь Сергеевич Дмитриев**, доктор химических наук, директор Музея-архива Д.И.Менделеева Санкт-Петербургского государственного университета, профессор факультета философии и политологии. Историк науки. Автор монографий, посвященных жизни и значению трудов И.Ньютона, Г.Галилея, Н.Коперника, Д.И.Менделеева, а также прошлому и настоящему квантовой химии, истории создания коксобензолной промышленности в России и др.

## «Союз ума и фурий»

В письме Б.Франклину (*B.Franklin*, 1706—1790) от 2 февраля 1790 г. Лавуазье, касаясь политической обстановки во Франции, отмечал: «Мы считаем ее [революцию. — И.Д.] уже совершившейся, и совершившейся бесповоротно. Существует, впрочем, весьма слабая аристократическая партия, которая делает тщетные усилия. Партия демократическая имеет на своей стороне и численность, и философию, и ученых. Люди умеренные, сохранившие хладнокровие в этом всеобщем брожении, полагают, что обстоятельства нас завели слишком далеко, и весьма печально, что пришлось вооружить народ и всех граждан. Они же полагают, что весьма неpolitично давать власть в руки тем, кто должен повиноваться...» [2. С.270].

Тревожные предчувствия не обманули Лавуазье. Самые драматические события были впереди, но в 1790-м, да и в следующем году многим казалось, что революция завершилась или вот-вот завершится. Однако они ошибались. Ошибался Людовик XVI, заявивший в день роспуска Учредительного собрания, принявшего окончательный текст конституции: «Наступил конец революции!», ошибались твердившие о том же фейяны (конституционные монархисты), которых вполне устраивала Конституция 1791 г., ошибались и многие другие, надеявшиеся на скорейшее восстановление во Франции спокойствия и порядка. В государстве оставалось еще слишком много недовольных.

Видимо, это общая тенденция глубоких социальных переворотов — радикализация позиций части политических сил (как правило, левых) после первой серьезной победы над *ancien régime*, до-





Антуан Лорана Лавуазье. Гравюра Марии Рене Женевиёвы Броссар де Белье (Marie Renée Geneviève Brossard de Beau lieu) по рисункам, возможно, сделанным ею же при жизни ученого. Гравюра была передана М.Броссар де Белье в дар Институту Франции 9 марта 1806 г. Некоторые авторы полагают, что рисунки, послужившие основой этой гравюры, были сделаны во время пребывания Лавуазье в заключении.

ставшейся зачастую малой кровью. Именно после того как Долгий парламент наконец созван, Бастилия пала, а Зимний дворец взят, дальнейшая политическая борьба приобретает кровавую остроту и настает, если воспользоваться терминологией О.Бисмарка, время революционных проходимцев, пришедших на смену гениям и фанатикам революции, время носителей эксклюзивного знания путей к всечеловеческому счастью. Тогда-то и начинаются кризисные годы для интеллектуальной жизни нации.

Главные политические силы (монтаньяры, жирондисты) были полностью поглощены войной друг с другом. В результате страна оказалась в тисках жесточайшего и всеохватного кризиса, из которого можно было выйти только введением чрезвычайных мер. В тяжелой ситуации — рост народного недовольства, плюс мятеж в Вандее, плюс угроза иностранной интервенции и реставрации монархии, плюс грызня за власть в Конвенте, плюс двоевластие (Коммуна — Конвент) — законодатели отходят от либеральных принципов и усиливают централизацию управления. Перед лицом опасности иностранного вторжения и восстания в Вандее многие депутаты решаются голодовать за крайние революционные меры.

6 апреля 1793 г. учрежден Комитет общественного спасения (*Comité de Salut public*). Комитет должен был состоять из 9 человек (с 30 мая 1793 г. он был расширен до 12 членов), избираемых Конвентом из своих рядов. Заседания Комитета должны были проходить тайно, а решения исполняться немедленно. Фактически Комитет стал главным контролирующим и распорядительным органом Республики.

Между тем обострилась фракционная борьба в самом Конвенте. Якобинцы открыто обвиняли жирондистов в измене, натравливая на них плебс. В самом конце мая 1793 г. обстановка в Париже накалилась до предела. Вечером 30 мая комиссары большинства секций объявили столицу в состоянии восстания. Путь к гражданской войне и активизации иностранной интервенции был открыт, а вместе с тем был открыт путь к установлению «революционного порядка управления», т.е. якобинской диктатуры, основанной на «организованном терроре».

Когда началась «эпоха террора»? Разные авторы указывают различные даты, но бесспорно одно: машина государственного террора начала набирать обороты с весны 1793 г. 10 июля был переизбран Комитет общественного спасения, его фактическим лидером с 27 июля стал Робеспьер. Кроме Неподкупного в состав Комитета вошли многие примечательные люди. Например, Жан-Мари Колло д'Эрбуа (*J.-M. Collot d'Herbois*, 1749—1796), в прошлом актер и драматург, в котором Революция открыла патологическую страсть к насилию (к примеру, он заменил обычную практику гильотинирования расстрелом картечью, объяснив, что так быстрее и... гуманнее). Колло проявил поразительную политическую прозорливость и расторопность, он вовремя покинул ряды жирондистов, потом изменил эбертистам, а затем активно выступил против Робеспьера накануне переворота 9 термидора.

Другой гигант революционной мысли — М.Эро де Сешель (*M.J. Héroult de Séchelles*, 1759—1794), аристократ, известный своим распуством (даже на фоне весьма легкомысленной жизни французской аристократии накануне Революции), автор брошюры «Теория амбиций», этого манифеста веселого эгоизма, вышедшего накануне взятия Бастилии и начинавшегося словами: «Надо отказаться от предрассудков и законов! Надо развивать и искусно восславлять свой собственный ум и гений, расширяя в то же время сферу своих чувств и мыслей и помещая свою душу в центр Вселенной» [3. P.3]. (Впрочем, Эро слишком увлекся своими чувствами и мыслями и перестал следить за чувствами и мыслями своих коллег по Комитету общественного спасения, в результате чего пострадала голова — он погиб на гильотине 5 апреля 1794 г. вместе с Дантоном и другими жирондистскими лидерами). Наконец, следует упомянуть и о Л.А. де Сен-Жюсте (*L.A.L. de Saint-Just*, 1767—1794), авторе ан-

тикатолической, антимонархической и порнографической поэмы *Organt* (1789), который с сентября 1786-го по март 1787 г. просидел в исправительной тюрьме за то, что ушел из дома, прихватив с собой немного серебра своей матери-вдовы, и который впоследствии стал идеологом террора. Эти и другие поклонники *Декларации прав человека и гражданина* (где, в частности было сказано, что «свободное выражение мыслей и мнений есть одно из драгоценнейших прав человека») стали убивать людей за их политические и религиозные взгляды, а зачастую просто по подозрениям и наветам, убивать без суда (или устраивая комедию суда) и без жалости, ибо, как заявил Робеспьер, «милосердие — это варварство».

При этом Комитет взял на себя функции не только исполнительной, но частично и законодательной власти. Декретом Конвента от 5 сентября 1793 г. террор был поставлен в порядок дня. В ответ на требования хлеба Робеспьер обвинял низы в контрреволюционности, а Дантон обещал начать репрессии. И они начались: 16 октября казнили Марию-Антуанетту, 31 октября на гильотине оказались 22 лидера Жиронды и т.д., и т.д. Более того, Сен-Жюст предложил также карать равнодушных и пассивных. Но продовольствия от этого больше не стало, наоборот, и в октябре пришлось вводить хлебные и мясные талоны.

17 сентября 1793 г. Конвент принимает Закон о подозрительных (*Loi de suspects*), который предписывал брать под арест и содержать в тюрьме (за их собственный счет) всех лиц, признанных «подозрительными». Автор этого закона, якобинец Мерлен из Дуэ (*Pb.A. Merlin de Douai*, 1754—1838; по прозвищу Мерлен Подозрительный), дал потрясающий комментарий к своему законопроекту: «Подозрительными должны считаться все те, кто <...> чем бы то ни было навлекли на себя подозрение». Фактически этот закон позволял арестовать любого и на любом основании. К примеру, известный математик и философ маркиз Кондорсе, в Конвенте притыкавшийся к жирондистам, несколько месяцев скрывался у вдовы скульптора Верне от преследований якобинцев, заочно приговоривших его 3 октября 1793 г. к смертной казни. В марте 1794 г., не желая более подвергать смертельному риску укрывающих его друзей, он вышел на улицу и несколько дней скитался в окрестностях Парижа. Однако вскоре Кондорсе был арестован по доносу одного каменщика, которого насторожило, что встреченный в кабачке незнакомец читает Горация и имеет носовой платок из тонкого батиста.

Главным врагом революционеров была аристократия. Причем термин «аристократия» понимался довольно широко. Аристократами считались все, кто в силу своего происхождения, состояния, связей, таланта или заслуг стоял хоть немного выше толпы, зарабатывавшей на жизнь ежедневным тяжелым трудом. При этом на людей науки также



Взятие Бастилии 14 июля 1789 г. Художник Клод Шола (Claude Cholat), ок. 1789 г. Гуашь на картоне. (Musée Carnavalet, Paris.)

смотрели как на аристократов. Слово «аристократ» стало не только позорным клеймом, но и приговором. Антитеза «свобода—тирания» начального периода Революции сменилась антитезой «патриотизм—аристократия», причем объем последнего понятия, как и ненависть к тому, что оно означало, неконтролируемо расширялись.

В период якобинского террора поступками людей (в том числе и людей науки) двигал сложный комплекс чувств, в котором далеко не последней, а зачастую преобладающую роль играл *страх*. О страхе как атрибуте революционных лет писали многие, и современники событий Французской революции, и историки — от Т.Карлейля до М.Вовеля и Ж.Лефевра. Аббат Грегуар рассказывал, что академик Ф.Вик д'Азир, выдающийся эпидемиолог и анатом, основатель Медицинского общества при Академии наук, последние месяцы своей жизни провел в постоянном страхе. Доказано несчастного пошлое и страшное зрелище праздника в честь Верховного Существа\*, устроенное 20 прериала II года (8 июня 1794 г.) Робеспьером с помощью художника Л.Давида. Умирая, сорокашестилетний Вик д'Азир повторял только одни слова: «*Le tribunal révolutionnaire... le tribunal révolutionnaire...*».

Страх перед заговорами, голодом, интервенцией, разъяренной толпой, Революционным трибуналом и гильотиной порождал карательные импульсы, причем как сверху, так и снизу, и, соответ-

\* В ответ на предложение Робеспьера ввести гражданский культ Верховного Существа Национальный Конвент 7 мая 1794 г. принял декларацию, в которой были сформулированы принципы новой религии и установлены соответствующие праздники, первый из которых — праздник Верховного Существа — состоялся уже на следующий день в Париже. Тем самым фактически вводилась государственная религия. В декларации Конвента было сказано: «Французский народ признает существование Верховного Существа и бессмертия души».





Портрет супругов Лавуазье. Работа кисти Жака-Луи Давида (J.-L. David), 1788 г., масло, холст. (Metropolitan Museum of Arts, New York.)

ственно, разнообразные способы ухода от того, что представлялось источником опасности. При этом одни, попав во властные структуры, старались любыми способами удержаться там, пресмыкаясь, лавируя, предавая друзей, убеждения и, в конечном счете, самих себя, другие предпочитали уединиться, уехать в сравнительно безопасное место, как П.С.Лаплас\*, занявшись, если позволят обстоятельства, наукой, третьи, как, например, Лавуазье, решили служить отечеству в трудные, кризисные для него годы, но при этом по возможности не входя во властные структуры.

## Генеральный откуп

С весны 1775 г. Лавуазье входил в состав руководства Управления порохов и селитр (La Régie des Poudres et Salpêtres). В апреле он переселился в Арсенал, где находилось это Управление и где он создал первоклассную химическую лабораторию. Однако осенью 1791 г. ученый был отстранен от руководства *Régie*. Правда, ему разрешили проживание в казенной квартире и работу в лаборатории Арсенала. В феврале 1792 г. Лавуазье

\* Если посмотреть список тех ученых, членов Академии наук, которые оказались в 1792—1795 гг. во внутренней или внешней эмиграции, то их окажется свыше 20 человек, почти половина наличного состава Академии на 1792 г. Но в основном это была «эмиграция в провинцию», за границу уехали очень немногие, всего четыре или пять человек.

вновь вводят в число управляющих, но уже к лету обстановка вокруг ученого сделалась настолько нетерпимой, что он вынужден был оставить работу в пороховом управлении и переехать 15 августа из Арсенала на бульвар де ля Мадлен. В это время Ж.-П.Марат неумоимо «разоблачал», как он выражался, «корифея шарлатанов, господина Лавуазье, сына пройдохи, недоучившегося химика, выученика женеvского биржевика».

Все это стало началом цепи тех событий в жизни Лавуазье, которые в итоге привели к трагической развязке. Впрочем, причины гибели ученого коренятся в обстоятельствах, сложившихся много раньше, почти за четверть века до его вынужденного ухода из Управления.

Еще весной 1768 г. Лавуазье стал компаньоном генерального откупщика Ф.Бодона. Генеральный откуп, который получил право собирать некоторые налоги, заключал договора на шесть лет с генеральным контролером (т.е. министром) финансов и ежегодно вносил в королевскую казну заранее оговоренную сумму. Доход Откупа определялся разницей между реально собранной суммой и той, что была уплачена в казну (за вычетом расходов на сбор налогов и жалованья, выплачивавшегося почти 30 тыс. служащих компании). Доля платежей Генерального откупа в доходах королевской казны составляла от 40 до 50%, в силу чего откупщики стали в королевстве влиятельной силой, способной поддержать или похоронить любые реформы. Как сказал Вольтер, Генеральный откуп — это «шестьдесят один человек, считая короля, которые управляют Францией». В 1726 г. существовавшие откупа были объединены общим договором, в результате чего образовался *Ferme générale*, просуществовавший до 1791 г. Число генеральных откупщиков (*fermiers généraux*) колебалось от 40 до 60 человек. Кроме сбора налогов Генеральный откуп отвечал также за производство и продажу отдельных товаров, на которые была введена государственная монополия. К их числу относились прежде всего соль и (после 1730 г.) табак.

В целом Откуп действовал эффективно. Так, если доход королевской казны от прямых налогов, сбором которых откупщики не занимались, с 1725 по 1788 г. возрос с 87.5 до 179 млн ливров, поступления от косвенных налогов, которые контролировались Откупом, за тот же период увеличились с 99 до 253 млн ливров.

Доходы генерального откупщика в 1775 г. состояли из его жалованья (24 тыс. ливров в год), плюс 10% от внесенного в казну первого миллиона, плюс 6% от остальной внесенной суммы (около 560 тыс. ливров), плюс подарки. Кроме того, если удавалось собрать больше определенной в договоре с правительством суммы, то с 1780 г. половина этого сверхдоговорного дохода также делилась между генеральными откупщиками. В итоге чистый доход Лавуазье в период с 1768 по 1786 г. составлял около 1 млн 200 тыс. ливров в год.



Откупная система вызывала сильное недовольство и даже озлобление во французском обществе. Генеральный откуп в общественном мнении представлял собой синдикат грабителей, делящих свою добычу с королевским двором. Действительно, многие придворные получали от Откупа дорожные подарки и пенсии.

Работе в Откупе Лавуазье отдавал много сил. Он, в частности, проанализировал сборы, взимаемые с товаров, ввозившихся в Париж, в первую очередь с алкоголя и табака. По его расчетам получалось, что минимум процентов двадцать этих товаров проникало в столицу контрабандным путем. Контрабанда облегчалась тем, что город был огражден простым деревянным забором, причем во многих местах этого ограждения стояли дома с двумя выходами, один из которых вел в город, другой из него. Офицеры таможенной службы несли дежурство только у главной заставы. Кроме того, руководство некоторых учреждений, имевших право получать товары без обложения въездными сборами (как, например, Бастилия или Дом Инвалидов), активно участвовало в контрабандной торговле. Поэтому в 1779 г. Лавуазье предложил обнести Париж стеной. Поначалу его идея не была принята. Однако генеральный контролер (министр) финансов одобрил проект Лавуазье, переслав соответствующие документы — с предложением взять на себя реализацию проекта — архитектору Клоду Леду (*C.N.Ledoux*, 1736—1806). Строительство стены (24 км) продолжалось с 1784 по 1791 г. Согласно проекту, в стене размещалось 62 пропускных павильона, некоторые из них своим великолепием напоминали небольшие дворцы. Стена, на сооружение которой было израсходовано 30 млн ливров, стала предметом недовольства и насмешек во всех слоях парижского общества. Париж облетела острота: «*Le mur murant Paris rend Paris murmurant*» («Стена, окружающая Париж, делает Париж ворчливым»).

Возведение «стены откупщиков» сильно ударило по репутации Лавуазье. В анонимном памфлете его обвиняли в том, что стена ухудшит циркуляцию воздуха и будет способствовать скоплению миазмов. А один французский маршал выразился с солдатской прямоотой: «Автор этого плана должен быть повешен». Лавуазье счел за лучшее просто проигнорировать подобные выступления, чтобы не разжигать страсти.

Революция уничтожила не только таможенную стену. 20 марта 1791 г. решением Национального учредительного собрания был упразднен Генеральный откуп. Законодательное собрание постановило уплатить бывшим генеральным откупщикам 48 млн 640 тыс. ливров отступных.

Власть обвиняла членов Генерального откупа в сокрытии финансовых отчетов (не говоря о том, что сама их деятельность рассматривалась революционерами как преступная). Откупщики же в ответ утверждали, что действовали всегда по за-

кону, а представить требуемые документы не могут потому, что еще не получили соответствующих сведений от сборщиков налогов на местах. Однако многие считали, что откупщики под разными предлогами намеренно тянут время. Кроме того, на руководство Откупа жаловались также бывшие служащие этой компании (клерки, rasterщики табака, рабочие, офицеры застав и т.д.), поскольку многие из них не получили положенных им выплат. Конвент, который остро нуждался в деньгах, заинтересовался делами Генерального откупа, надеясь за счет конфискации средств этой компании улучшить государственные дела. Однако политическая, военная и экономическая ситуация весной 1793 г. ухудшилась настолько, что властям стало не до Откупа.

### **Port Libre — узилище свободы**

4—5 сентября 1793 г. под давлением плебса, действия которого направляла Коммуна, орган самоуправления Парижа Конвент поставил террор *à l'ordre du jour* (в порядок дня), установил максимум цен и заработной платы, а также декретировал создание особых отрядов («революционной армии») для изъятия у крестьян продовольствия по фиксированным ценам. На этот раз не забыли и откупщиков. Было решено перенести все ценности бывшего Откупа в казну, «опечатать все конторы Откупа», а также бумаги, находившиеся в его главной резиденции, и бумаги, которые будут обнаружены в домах откупщиков.

Во исполнение решения Конвента 10 сентября в квартиру Лавуазье на бульваре де ля Мадлен явились два комиссара из секции Пик (названной так по району, где до ареста жил Лавуазье). Их сопровождали «люди науки» — Ж.Ромм (*G.Romme*, 1750—1795) и А.Фуркруа, которые в данном случае представляли Комитет народного образования (*Comité d'Instruction publique*). Комиссаров интересовали бумаги, имевшие отношение к делам Откупа, ученые мужи должны были забрать инструменты, использовавшиеся при разработке новой системы мер и весов. (Декретом от 8 мая 1790 г. Национальное собрание поручило Академии наук разработать единую систему мер и весов. В Академии была создана специальная Комиссия весов и мер, в которой Лавуазье исполнял обязанности казначея и секретаря.)

В сложившейся ситуации Лавуазье решил отойти от всех дел и заняться научными исследованиями, а также переработкой своего учебника химии. Решение вызрело давно, после того, как он в августе 1792 г. вынужден был покинуть квартиру и химическую лабораторию в Арсенале. «Сейчас, — писал Лавуазье в январе 1793 г., — когда Франция погрязла в конфликтах, стало исключительно трудным сделать что-либо хорошее, и надо быть очень амбициозным или совсем сумас-

шедшим, чтобы стремиться к высокому положению» [4. P.186].

24 сентября бывшие генеральные откупщики попросили Конвент вернуть им их бумаги и обещали представить отчет к 1 апреля 1794 г. Конвент согласился. Однако при обсуждении слово взял депутат Антуан Дюпен (*A. Dupin*, 1738—1829), бывший внештатный контролер Генерального откупа, который заявил, что ему все известно о незаконных действиях откупщиков и что для проверки счетов и бумаг Откупа необходимо назначить пять независимых аудиторов, которые будут работать под наблюдением двух депутатов Конвента. Аудиторы были незамедлительно назначены. Ими оказались бывшие служащие Откупа, а в помощь им Конвент делегировал депутатов Дюпена и Жака. Было решено также, что вознаграждение, которое получают аудиторы, будет пропорционально той сумме, которую они вернут в казну.

В ноябре 1793 г. Конвент, обсуждая вопрос о частных компаниях, вновь вернулся к бывшему Генеральному откупу. Было решено арестовать всех откупщиков и сборщиков податей. В решении также было сказано, что «если в течение месяца счета не будут обнаружены, Конвент начнет судебное преследование».

В период с 4 по 24 фримера II года (т.е. с 24 ноября по 14 декабря 1793 г.) все 19 проживавших в Париже бывших генеральных откупщиков были арестованы и 8 фримера (28 ноября) отправлены в тюрьму *Port Libre*. Однако Лавуазье попал туда позже остальных. Когда полицейские явились сначала в его квартиру в Арсенале, а затем на бульвар де ля Мадлен, найти ученого им нигде не удалось. В тот день он был на военных сборах. Встревоженный последними событиями, Лавуазье не вернулся домой. Сначала он некоторое время скитался в окрестностях Парижа, потом нашел убежище у бывшего консьержа Академии наук Люка, после чего перебрался в старое здание Академии в Лувре, где оставался четыре дня.

Поначалу ученый надеялся, что его участие в работе Комиссии мер и весов (на что он имел поручение и поддержку Комитета народного образования) спасет его от преследований. В худшем случае он потеряет свое состояние и, если бы такое случилось, он готов был податься в фармацевты. Однако никакого ответа на его обращения к властям не последовало. В итоге Лавуазье решил добровольно отправиться в тюрьму, и 8 фримера II года (28 ноября 1793 г.) он и его тесть Ж. Польз (также генеральный откупщик) предстали перед офицером *Port Libre*.

В тюрьме содержались две сотни заключенных, в том числе 27 бывших генеральных откупщиков и столько же сборщиков налогов. Узники находились в трехэтажном здании, на каждом этаже которого были оборудовано по 32 камеры, двери которых выходили в широкий коридор, заканчивавшийся большим камином. Большой зал на втором

этаже был переоборудован под столовую. Заключенные оплачивали еду и прочие расходы по их содержанию. Один из узников так описывал экономнику тюремной жизни: «Мы платили по 30 су в день за тех, кто был не в состоянии прокормить себя и на хлеб для всех. Расходы возлагались на богатых, которые давали деньги соответственно их возможностям... Казначей (выбранный из числа заключенных. — *И.Д.*) собирал деньги и санкционировал все расходы: на дрова, воду, свечи, печки, столы, стулья и другую мелкую мебель для камер... Мы должны были также платить за собаку, которая нас сопровождала... Расходы на охрану, 150 ливров в день, также несли мы» [5. P.68].

Вечерами все заключенные, мужчины и женщины (женские камеры располагались в другой части тюрьмы, отделенной воротами), собирались вместе, в зале, посередине которого находился большой стол. «Каждый приходил со своей собственной свечой, — вспоминал впоследствии один из узников, которому чудом удалось избежать гильотины. — Мужчины рассаживались вокруг стола, у некоторых из них были книги, другие писали... Все были крайне молчаливы. Те, кто грелись у камина, старались говорить как можно тише. Женщины сидели вокруг небольшого стола и занимали себя рукоделием: кто-то вышивал, кто-то вязал. Затем приносили импровизированный легкий ужин. Все торопились занять место за столами и внезапное оживление, сменившее молчание, заставляло нас забыть на время, что мы в тюрьме. Действительно... на окнах не было ни железных прутьев, ни решеток, двери запирались просто на щеколду. Собиралось хорошее общество, велась непринужденная беседа... Мы могли бы быть просто большой семьей, съехавшейся повидать друг друга в обширном замке... Поскольку запрет на общение был отменен в первый же день нашего пребывания, заключенные-санкюлоты могли свободно беседовать с другими узниками, они приходили на наши концерты и лекции и тоже по-своему укрывали собой наш салон. Однако в 9 часов мы должны были вернуться в наши камеры для переключки... после которой мы могли встретиться снова или у камина, или в наших комнатах. Те, у кого были знакомые в окружающих зданиях, могли пойти к ним и провести там остаток ночи, для чего требовалось получить пропуск с подписью консьержа. Эти маленькие послабления делали отсутствие свободы более терпимым» [6].

В декабре 1793 г. Лавуазье пишет жене: «Я начинаю вести образ жизни, наиболее соответствующий тем обстоятельствам, в которых я оказался. <...>. Мы все здоровы и ни в чем не нуждаемся... Я прошу тебя не обременять себя бесполезными усилиями и следить за своим здоровьем. Все говорит о том, что дело затянется надолго» [7].

И все же медлить было нельзя. Лавуазье с нетерпением ждет ответа на свое обращение в Комиссию мер и весов, в котором он просит своих коллег

подтвердить его активное участие в работе Комиссии и важность последней для национальных интересов страны. 28 фримера II г. (18 декабря 1793 г.) Комиссия направила в Комитет общей безопасности ходатайство об освобождении Лавуазье из-под ареста, дабы он мог продолжать важные для Республики исследования по подготовке эталонов новых мер длины и веса. Подписали обращение Ж.Борда (председатель Комиссии), аристократ, а также секретарь Комиссии Р.Ж.Гаюи (1743—1822), неприсягнувший священник. Ходатайство было немедленно рассмотрено и отклонено.

Двумя днями ранее, 1 нивоа II г. (21 декабря 1793 г.), Комитет ассигнатов и монет направил ходатайство в Комитет общей безопасности. «Чтобы взвешивать новые монеты, — говорилось в обращении, — необходимы специальные весы, чрезвычайно деликатной конструкции. Но их производство остановлено по причине ареста гражданина Лавуазье. Примите по отношению к нему любые меры, какие сочтете нужными, но необходимо, чтобы он мог работать в своей лаборатории» [8. P.276]. Однако и эта просьба была отклонена.

27 фримера II г. (17 декабря 1793 г.) четыре представителя секции Пик пришли в апартаменты Лавуазье на бульваре де ла Мадлен с целью конфискации мебели и ценных предметов. Первый во-

прос касался серебряных изделий. Мадам Лавуазье ответила, что все было сдано ею в Монетный двор. Тогда визитеры поинтересовались наличием загородного дома. На что супруга Лавуазье также ответила отрицательно. Однако вскоре выяснилось, что Лавуазье владеет-таки поместьем Фрешин, расположенном в трех лье от Блуа. Представители секции вновь обратились к мадам Лавуазье за разъяснениями. Та в ответ заявила, что, видимо, не поняла вопроса, она думала, что речь шла о коттедже под Парижем, который ее муж продал. Явившиеся 11 нивоа II г. (31 декабря 1793 г.) во Фрешин комиссары обнаружили там обширное поместье с годовым доходом в 25—30 тыс. ливров. Впрочем, многое к тому времени было уже украдено, от столового серебра и мебели до домашнего скота. Между прочим всю свою собственность Лавуазье действительно перечислил в налоговой декларации.

В декабре 1793 г. Конвент рассмотрел заявление откупщиков, настаивавших, чтобы их допустили к документам Откупа для сдачи отчета. Конвент постановил перевести заключенных в Дом Откупа и держать их там под арестом до тех пор, пока отчет не будет сдан.

**Окончание в следующем номере**

## Литература

1. *Фигуровский Н.А.* Очерк общей истории химии: от древнейших времен до начала XIX в. М., 1969.
2. *Дорфман Я.Г.* Лавуазье. 2-е изд. М., 1962.
3. *Héroult de Séchelles M.-J.* Théorie de l'ambition et autres essais / [Présenté par] Gérard Guégan. Paris, 1978.
4. *Duveen D.I., Klickstein H.S.* A Bibliography of the Works of Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794. L., 1954.
5. *Coittan Ph.E.* // Almanach des prisons, ou, Anecdotes sur le régime intérieur de la Conciergerie, du Luxembourg, ect. [sic]: et sur différens prisonniers qui ont habité ces maisons, sous la tyrannie de Robespierre: avec les chansons, couplets qui y ont été faits. 2nd éd. Paris, 1794/1795.
7. Archives de l'Académie des Sciences (Paris), Lavoisier Collection, dation Chabrol, I, f. II.
8. *Grimaux Éd.* Lavoisier: 1743—1794, d'après sa correspondance, ses manuscrits, ses papiers de famille et d'autres documents inédits. 2nd éd. avec dix gravures hors texte en taille-douce et en typographie. Paris: Felix Alcan, 1896. P. 276.
9. *Delabante A.* Une famille de finances au XVIIIe siècle. Mémoires, correspondances et papiers de famille réunis et mis en ordre par Adrien Delahante. Deuxième édition. En 2 tt. Paris, 1881. T.2.
10. *Lavoisier A.L.* Réponses aux inculpations faites contre les ci-devant fermiers généraux avec les pièces justificatives (Paris, 1794) // *Lavoisier A.L.* Oeuvres. En 6 tt. / Publiées par les soins de Son Excellence le Ministre de l'Instruction publique et des cultes. Paris, 1862—1893. T.VI.
11. *Lavoisier A.L.* Lettre aux membres composant le Bureau de Consultation des Arts et Métiers; Le 29 germinal, l'an II de la République française, une et indivisible // *Lavoisier A.L.* Oeuvres. T.IV.
12. *Dupin A.* Rapport fait au nom des Comités de Sûreté générale, des Finances et de l'Examen des Comptes réunis à la Commission sur l'administration des fermiers généraux, 16 floréal An II (5 мая 1794).
13. *Mollien F.N.* Mémoires d'un Ministre du Trésor Public, 1780 —1815. En 4 tt. Paris, 1845. T.I.
14. Journal du Lycée des Artes, 1795. №3.
15. Archives Nationales. Paris. W1. A193.
16. *Delabante A.* Une famille de finances. V.II.
17. *Tuetey A.* Répertoire général des sources manuscrites de l'histoire de Paris pendant la Révolution française. En 11 tt. Paris: Imprimerie nouvelle, 1890—1914. T.2.
18. *Delambre J.B.* Eloge de Lagrange // Les Mémoires de l'Institut, 1812.
19. *Чудинов А.В.* Ученые и Французская революция ([http://www.ateismy.net/content/spravochnik/science/france\\_revolution.php](http://www.ateismy.net/content/spravochnik/science/france_revolution.php)).





# П Р И Р О Д А.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННО - ИСТОРИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛЪ ДЛ Я С А М О О Б Р А З О В А Н И Я

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

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

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

МА Р Т .

МО С К В А .

1912 г.

## Роль человека в познаваемом им мире

Профессор Н.А.Умов

*...Даже принимая во внимание в вечных принципах разума, справедливости и гуманности только благоприятные шансы, с ними неизменно связанные, следование им дает большие преимущества, а уклонение от них — тяжелые последствия...*

Лаплас

«Все», среди которого протекает наша жизнь, с первых просветов разума на Земле познавалось в картине, в значительной мере подчинявшей себе проявления индивидуальной и общественной жизни человека. Основной фон этой картины составлялся из свойств разумного существа, переносимых на Вселенную. Антропоморфная точка зрения являлась единственным прибежищем людей в определении тех неизвестных и могущественных сил, от усмотрения которых, вне времени и места, за-

висело человеческое благополучие, и борьба с которыми казалась не только невозможным, но дерзновенным и кощунственным действием. Благодаря такому представлению человек имел возможность различать в природе враждующие друг с другом или дружественные между собою начала. Приемы человеческого воздействия на природу выражались в стремлении усилить вражду между богами или их умилоствить путем мольбы и жертвоприношения.

Николай Алексеевич Умов (1846—1915) впервые ввел понятие скорости и направления движения энергии, потока энергии (так называемый вектор Умова), плотности энергии в данной точке среды. Его идеи оказали значительное влияние на дальнейшее развитие представлений об энергии. В частности, в 1884 г. английский физик Дж.Г.Пойнтинг применил их к электромагнитному полю, описав движение электромагнитной энергии с помощью вектора (вектор Умова—Пойнтинга). В 1875 г. Умов решил задачу распределения электрических токов на поверхности любого типа (до этого задача решалась для отдельных случаев). Раскрыл физический смысл многих сложных формул Гаусса в теории земного магнетизма, что дало возможность определить его вековые изменения. Один из первых понял и оценил значение теории относительности. В 1893—1911 гг. — профессор Московского университета (с 1896 г., после смерти А.Г.Столетова, возглавлял кафедру физики). Известен как один из ста преподавателей и профессоров, оставивших университет в 1911 г. в знак протеста против реакционных действий министра просвещения Кассо. Как многие из их числа, принял участие в создании в 1912 г. журнала «Природа». В первый же год его существования опубликовал статью, которую мы здесь воспроизводим. Статья имеет философское направление, содержит своеобразные, яркие образы и идеи. Печатается в сокращенном виде. — *Примеч. ред.*

Разум, вооруженный естествознанием, создает иную картину. Силы природы не подразделяются им на враждующие или дружественные. Он знает, что любая пара сил может быть поставлена в условия, при которых они действуют согласно или противоположно. Каждая сила может служить и на пользу, и во вред человеку, и естествоиспытатель должен был бы наполнить природу миллиардами капризных богов, что равнозначще их упразднению. Если в древности человек не решался на борьбу с богами и мольбой и жертвами умилял или побуждал одного бога к воздействию на другого, то современный естествоиспытатель делает то же самое, только иным способом, направляя одну силу природы противоположно или согласно с другой, пользуясь научными приемами регуляции естественных процессов. Деятельность человека, вооруженного естественно-научным знанием, по отношению к природе одинакова в своих целях с деятельностью человека древности; но изменился ее характер, и притом в сторону большей успешности в получении желанных результатов.

Естествознание определяет отношение человека к природе, пользуясь не тем только материалом, который дается ему явлениями современной природы на нашей планете, как это делалось в древности. Оно идет глубже, дальше и выше, стремясь определить это отношение, пользуясь данными, почерпаемыми не только из современности, но и далекого прошлого и эволюции мира. Ознакомить читателя с тем горизонтом, на котором в этом вопросе стоит естествознание, и составляет задачу настоящей статьи.

Однако, несмотря на прогресс естественных наук, антропоморфную точку зрения находим и у современных мыслителей, отличающуюся от древней тем, что они переносят на природу свойства своей более культурной личности. Это обстоятельство несомненно указывает, до какой степени трудно избежать ее человеку, стремящемуся определить свое отношение к тому Все, которое подавляет его своим величием и мощью.

Нужно делать различие между антропоморфными приемами в разъяснении роли природы по отношению к человеку и антропоморфным воззрением на природу. В занимающем нас вопросе мы чрезвычайно выгадываем в наглядности, сравнивая правила, которым подчиняет свои действия современный культурный человек, с правилами или приемами воображаемого разума, который руко-



Николай Алексеевич Умов.

водил бы процессами природы с тем содержанием и с тем характером, которые раскрываются естествознанием, а не непосредственно нашими чувствами. Такое сравнение имеет смысл не переноса свойств человеческого разума и человеческой этики на явления природы, а отнесение действий человека и действий природы к одним и тем же осям координат и рассмотрение результатов обеих деятельностей в одной и той же плоскости. Этот прием может внести луч света в преобладающее и до сего времени антропоморфное представление о сущем. Бесспорно, сущее нами не постигнуто, но естествознание уже в достаточной мере продвинуло наше понимание тех его областей, ко-

торые приходят в ближайшее соприкосновение с интересами человека и вообще жизни, притом не за малый промежуток времени, а за все время существования живого на Земле и еще ранее.

В настоящей статье наряду с научными данными я буду пользоваться и антропоморфными приемами в указанном выше, отличным от принятого, смысле. Читатель встретит и термины необычные в естественно-научных рассуждениях; я ввожу их, имея в виду то настроение, которое создается мышлением о рассматриваемых далее вопросах и руководясь желанием не упразднить его, а только переместить его центр тяжести в ту единственную область, в которой смущенная мысль и смущенное чувство человека могут найти реальную опору и возможное для нас, людей, удовлетворение и успокоение.

Жизнь человека — те же часы: падающая гиря — неизвестный нам двигатель этой жизни, а маятник, регулятор — научное знание и любовь! Хороший регулятор не дает перебоя!

Вглядимся ближе в регулирующую функцию маятника: его нисходящее качание освобождает гирю — она падает; восходящее задерживает гирю — она останавливается. Нисходящее качание маятника — это любовь в жизни человечества: альтруизм; восходящее качание следует за этим расходом, оно останавливает гирю в ее стремлении к беспредельному, хаотическому падению: в жизни человечества это — научное знание. Восходящее качание невозможно без нисходящего, научное знание невозможно без жизни, но только жизнь хаотическая, без толку и цели расходующая свою энергию, не нуждается в научном знании.

Прислушайтесь, однако, к говору ежедневных событий, к гулу повседневной жизни. Не правда

ли, вы согласитесь со мною, что не нужно иметь особенно острого слуха, чтобы слышать непрерывный перебой, хаотически звучащий отовсюду!

Наши часы идут плохо, регулятор нашей жизни не соответствует своему назначению; это — дешевенький маятник, сделанный на скорую руку: маятник есть — потому что мы доросли до сознания его необходимости, но мы не приложили старания к его обработке, на это у нас не было времени, были другие заботы, другие печали.

Вы испытывали тягостное чувство, когда приходилось пробираться ощупью в темном неизвестном помещении. Вы не придавали эту чувствую большой важности, потому что положение было временно, несерьезно. Тем не менее такое чувство заслуживает внимания, анализа. В его основе лежит ни больше ни меньше как сознание нашей беспомощности, сознание нашей зависимости от окружающего мира, недостаточность одного хотения как мотива поступков.

Таким помещением, в котором мы, не подзревая его темноты, непрерывно вращаемся, представляется жизнь человеческая: а мы двигаемся в нем, как в зале, освещенном тысячами огней. В лучшем случае мы сами несем светильник, освещающий нам наши пути. Но он не дает указания тех территорий, которые нуждаются в его свете. Протяжение нашей жизни, иначе говоря результаты, вытекающие из нашего поведения и нашего миропонимания, простираются далеко за пределы нашего личного обихода и существования. Естествознание открывает нам, что мы и окружающие нас вещи окутаны сетью, как рыба неводом, что эта сеть тянется и в далекое прошлое, и далекое будущее. Своими свободными, но при незнании строения этой сети, в сущности, бессвязными движениями мы дергаем ее и спутываем, причиняя ненужные страдания не только своим соседям, находящимся в том же положении, как и мы, но и далекому потомству и, рефлекторно, самим себе. Эта сеть делает ближними не только всех нас между собою и с нашим потомством, но и со всем живым миром и углубляет самое понятие ближнего.

Убеждение в существовании связи между всеми явлениями мира, как маловажными, так и крупными, ясно высказывается в следующих словах великого мыслителя (Лапласа): «Разум, которому в данное мгновение были бы известны силы, управляющие природой, и положение существ, ее составляющих, который был бы достаточно могуществен, чтобы подвергнуть эти данные анализу, представил бы одной формулой и движение небесного светила, и легчайшего атома: ничто не было бы ему неизвестным — грядущее и прошедшее были бы ему открыты». Это убеждение разделяется обыкновенно по отношению к физическому миру. Вы уверены в том, что совершаются события и явления, вам неизвестные и тем не менее внося-

щие свое влияние и в вашу личную жизнь; вы принимаете меры к устранению тех, которые были бы вредны вашей личности. Вы не сомневаетесь в том, что антисанитарное состояние какой-нибудь лачуги на окраине города может передать заразу и в вашу квартиру: уверенность, что в этой сфере существуют какие-то таинственные нити, связывающие ваше физическое благополучие с благополучием бедняка, создала новую и важную заботу городских и общественных управлений. Общественные заботы должны простираться далее.

Мы должны воспитать в себе твердое убеждение не только о связи поведения лиц, близко и далеко стоящих друг от друга; но такую духовную связь мы должны признать и между нами и уже вымершим живым миром на нашей планете. К такому убеждению призывает нас наука, оно предостережет многие делаемые нами ошибки в понимании требований и потребностей нашей природы, оно разъяснит нам все бессердечие наше по отношению к будущности человечества. Пора подняться на эту ступень, чтобы нам не звучали укоризной пророческие слова Сенеки: «Наступит день, когда тщательным изучением в течение многих веков вещи, скрытые от нас в настоящую минуту, станут очевидными, и потомство будет удивляться, что от нас ускользнули столь ясные истины».

Какие же указания относительно начал, долженствующих регулировать наше поведение, открывает нам естествознание?

Человек не есть нечто неизменяемое: как индивид, принадлежащий к эволюционирующей расе, он носит в себе и наследие всей протекшей эволюции, и зачатки будущей. Правильное отношение к человеку не может основываться поэтому только на знании современной нам природы как его самого, так и внешней по отношению к нему: такое знание не даст нам понимания того, чего мы ищем. Мы должны знать больше чем одну современность, и к такому широкому знанию стремится природоведение. Очень многие усматривают цель естественных наук с их кропотливыми и точными методами определения меры, веса и числа только в удовлетворении человеческой любознательности. Но читатель станет на другую точку зрения, вдумываясь в заветы великих подвижников естествознания, и открывая их глубокий смысл в целостности служения науке и людям.

Выскажем исповедание естествоиспытателя.

I. Утверждать власть человека над энергией, временем, пространством.

II. Ограничивать источники человеческих страданий областью, наиболее подчиненной человеческой воле, т.е. сферой сожительства людей.

III. Демократизацией способов и орудий служения людям содействовать этическому прогрессу. Демократизация или общедоступность чудес науки, как по отношению к творящим эти чудеса, так и к воспринимающим даруемые ими блага,



есть их исключительная привилегия. Для чудес науки нет пределов ни в пространстве, ни во времени, нет избранных и отверженных. Возьмем для примера открытие Пастера — метод лечения бешенства и инфекционных болезней. Он может быть применяем в любом месте земного шара к любому страждущему индивиду и переживет поколения: эти методы приобретаются знанием, они изображены в открытых каждому приемах; приобретение их зависит только от доброй воли ищущего послужить человечеству, а не от посторонней милости. Этот научный способ исцеления физических страданий и поднятия природы до возможности удовлетворения повышенных потребностей людей есть достояние новейших времен, и рассказы о чудесах науки заменяют свидетельства летописцев о чудесах милостью неба, всегда связанных с определенным географическим местом, определенными лицами и определенным временем.

Общеизвестные, ставшие уже банальными факты, как привитие оспы, уничтожение болевых ощущений анестезирующими средствами и т.п., общедоступность пользования быстротой передвижения (железные дороги, трамваи), личных сношений (телефоны, телеграфия), т.е. сокращение пространства, сбережение времени, иначе полезное удлинение деятельности или жизни и т.д. указывают на глубоко демократический характер служения науки людям. Это служение касается насущных страданий и нужд, распространенных в массе человечества, а не противоестественных и у единичных индивидов. Эти блага нисходят к людям только от разума человеческого, испытующего природу.

IV. Познавать архитектуру мира и находить в этом познании устои творческому предвидению.

Творческое предвидение — венец естествознания — открывает пути предусмотрительной и деятельной любви к человечеству. Оно дает возможность превращать курьезы и малозаметные вещи природы в мощные орудия цивилизации, защищать человечество от грозящих ему опасностей, близких и далеких.

Естественно-научное предвидение вселяет уверенность в том, что, продолжая великое и ответственное дело создания среди старой природы — новой, второй природы, приспособленной к повышенным потребностям людей, естествознание не ударит отбой.

Правильная деятельность человека возможна только при устойчивости жизненного обихода, и потребность в такой устойчивости, а также кратковременность личного опыта сравнительно с продолжительностью эволюции нашей планеты, склоняют людей к вере и создают мираж прочности окружающего порядка вещей не только в настоящем, но и в будущем. Этот мираж завладевает и выдающимися мыслителями, которые строят на нем

правила человеческого поведения; такие проповеди ведут к застою всех тех способностей, которые приобретены человеком в течение предшествовавшей эволюции живого мира и скрывающихся в себе зародыши будущей. Идет насмарку работа природы в течение многих миллионов веков, и крупное достояние разменивается на мелкую монету. Забываются существенные вещи: наша Земля не есть беспредельная плоскость, а имеет вполне ограниченную, сравнительно небольшую поверхность, всего около  $37\frac{1}{2}$  тыс. верст в окружности; эта поверхность, по преимуществу являющаяся местом развития жизни, не обладает беспредельным и неизменно сохраняемым запасом энергии. Эволюция земной природы, этого дома жизни, идет под уклон, между тем как эволюция нашей человеческой расы идет к подъему. В полной дисгармонии с естественными предложениями природы стоит как рост человеческих потребностей, так и их современный уровень.

В человеке, как во всем живом и мертвом в природе, все процессы происходят с соблюдением возможной экономии сил и материала. В сознательной деятельности человека этот закон выражается в потребности возможно плодотворного использования своих сил и способностей: эта потребность существовала и в глубокой древности, но ее императивность не достигала той высоты, как в настоящее время, когда вытекающие из развития естествознания успехи техники дают обильный материал для ее удовлетворения; в этом направлении кротость и покорность человека естественному распорядку и течению процессов природы разумно заменяются требовательностью. Разумно — ввиду неизвестного будущего, становящегося на место воображаемого известного тех мыслителей, о которых я говорю. В этом неизвестном мы открываем уже теперь далеко не успокоительные предзнаменования. В наше время настроение, соответствующее распространительному толкованию изречения «довлеет дневи злоба его», означает равнодушные к судьбам человечества.

Нам предстоит голод железа, нефти, угля. Благодаря тому, что наука не овладела еще нашей атмосферой, и благодаря неизменно возрастающему приросту населения вероятен голод хлеба: на очереди стоит изыскание способов увеличения производительности уже известных источников пищи и отыскание новых.

Но многое другое неблагоприятно в доме нашей жизни. Представьте себе в Москве расстояние от Сокольничьей заставы до Девичьего монастыря (около 10 верст) и поставьте его вертикально. У верхнего конца этого расстояния уже имеется зона вечного шестидесятиградусного мороза. В некоторых местах земного шара она еще ближе спускается к поверхности Земли. Эта зона — смерть всего живого; когда-то она была дальше от нас и неза-

метно подкралась так близко... Воздух — среда нашей жизни — занимает лишь часть высящейся над нами атмосферы, а остальное наполнено газами, неспособными поддерживать жизнь.

Если бы люди последовали призывам к упрощению жизни, соединенному с отказами от пользования приобретениями науки и дальнейшей ее разработки, они несомненно вернулись бы в то состояние древнего человека, которое вынудило бы их снова населить природу милостивыми или гневными богами, а затем совершился бы тот самый цикл, который уже пережит историей человечества.

Оставляя в стороне возможные крупные перемены в условиях жизни, как повторение ледяного периода, обратимся к нашей собственной организации. Вам знаком облик бойца, вырвавшегося из буйствующей толпы, с кровоподтеками на теле и в изодранной одежде. Не представляется ли человек с несовершенствами своей природы, с своими моральными и материальными недомоганиями, с наклонностями — наследием нашей звериной генеалогии — таким же истерзанным бойцом, вырвавшимся из битвы за жизнь на нашей планете. Мы не замечаем этой битвы, этого буйства жизни на Земле только потому, что оно растянуто на миллионы веков. Оно маскируется этой растянутостью, и тем самым создаются все опасности незнания.

С другой стороны, растянутость жизненного боя дает науке время раскрывать дисгармонии человеческой природы и изыскивать средства к их устранения.

Я приведу здесь мысли, высказанные мною одиннадцать лет тому назад на съезде русских естествоиспытателей и врачей в С.-Петербурге\*.

Чувство красоты имеет в живом всевозможные градации, которые, избегая антропоморфных образов, все укладываются в определение стройности (гармоничности. — Примеч. ред.). Ее элементы уже заложены и в органы чувств, так что все нестройное вызывает в них болезненное или неприятное ощущение. Вот этот заложенный в нас темп красоты и связанное с ним влечение к восприятию определенного ряда ощущений становится в свою очередь источником миража, полезного в смысле защиты жизни, но являющегося источником заблуждений, задерживающих эволюцию индивида на тех ступенях его развития, когда условием его дальнейшего прогресса является истинное понимание вещей. На этой стадии стоит современный интеллигентный человек, и своевременно остановиться на ошибочном синтезе ощущений, даваемых чувствами, настроенными на восприятие красоты.

Этот синтез рождает призраки, которые человек высоко возносит над собою, не подозревая,

что они не более, не менее, как сам человек. Благодаря им центр тяжести судеб человеческих переносится за пределы человечества, они становятся объектами религиозного экстаза и им одновременно приписываются, как мы увидим, несовместимые вещи — могущество космоса и интерес к жизни личности, индивида, доходящий до взаимного общения.

Чтобы выяснить эту мысль, я останавливаюсь на анализе того восторга, который возбуждают в нас красоты природы и сообщают нам настроение, вырывающее хвалебные гимны из нашей груди.

Читатель будет удивлен утверждением, что способность восторгаться природой создавалась ею в высокой степени экономно, расчетливо и даже с долей лукавства. Я позволю себе изобразить иносказательно процесс надления живого органами чувств, т.е. теми инструментами, которые дают возможность живому различать красивое от некрасивого и тем устанавливать вехи на своих жизненных путях.

Беспредельным количеством самых разнообразных машин, действующих и недействующих, целых и разбитых, беспредельным количеством материалов, из которых могут быть построены машины и их части, заполнено хаотически и притом сплошь частями беспредельных размеров. Хозяин этого хаотического имущества ожидает гостя и намерен привести его в восторг своими владениями. Прежде всего — его гость есть индивид, который должен двигаться между нагроможденными вещами; этой новой вещи нужно дать место, дать простор ее движениям. Но хозяину не под силу растащить принадлежащий ему хаос и очистить место для движения гостя. Он придумывает для пришельца одежду, которая делала бы для него пронизываемыми целый ряд предметов и создавала бы ему мираж пустоты, в которой он может свободно двигаться. Открыв таким образом свое имущество для странствований пришельца, хозяин задумывается над способом сделать это путешествие привлекательным. Экономный и расчетливый, он тотчас же замечает, что сделать привлекательными беспредельное количество безразличных вещей на беспредельном протяжении своих владений потребовало бы громаднейшей затраты сил и притом частью бесполезной, потому что гость не сможет побывать везде на его территории. Проще построить и снабдить одежду путника такими талисманами-инструментами, которые делали бы ему привлекательными те вещи, с которыми он приходил бы в соприкосновение. Эти инструменты были бы, однако, чрезвычайно сложны, если бы им была поставлена задача делать привлекательной большую часть вещей, принадлежащих хозяину. Он сводит свою работу до возможной простоты и возможной экономии сил и творчества. Он увеличивает до чрезвычайных пределов способность одежды делать вещи пронизываемыми для странни-

\* «Физико-механическая модель живой материи». Речь, произнесенная на первом общем собрании XI съезда 20 декабря 1901 г.

ка и упрощает инструменты до такой степени, что путник приводится ими в прикосновение только с минимальным числом вещей.

Таким образом, гостю, вступающему во Вселенную, последняя открывается как капля материи и океан пустоты! Красота, которую он переносит на материю, в сущности есть красота создавшейся в нем картины, не переходящая за пределы его одежды с ее инструментами.

Перед человеком, восторгающимся красотами природы, перед весело щебечущей и порхающей птицей или широкою грудью дышащим и быстро несущимся конем расстилается один мираж. Над толпой, пораженной красотами неба и склонившейся ниц, воспевая его величие, царит не свет, не мрак, а одно безразличие. Живому, за исключением человека, навсегда останется неизвестным окружающий его и спасительный для его жизни обман. Человек должен его понять, потому что миража, создаваемого природой в его чувствах, уже недостаточно для удовлетворения его потребностей, для сохранения и руководства его жизни. Человек должен помнить, что, поклоняясь красотам природы, он себе поклоняется, что его любовь к природе есть любовь к себе самому.

Человек заменяет спасительный обман (который, благодаря тому что он все-таки обман, причинил немало страданий человечеству) научным знанием: последнее не только открывает нам смысл наших ощущений, но извлекает из них больший объем познания, чем тот, который дается деятельностью наших органов чувств в естественных, а не в искусственных условиях, создаваемых наукой. В мире все вещи связаны между собою или прямо, или посредственно. Если А действует прямо на В, то найдется С, на которое действуют и А, и В. И, через явления в этом С, В может познавать А. Мы обнаруживаем, например, область электрических и магнитных явлений, не обладающая для их ощущения специальными органами. В природе существует бесчисленное множество тонов, или, как мы образно выражаемся, колебательных, периодических движений, которые не могут быть восприняты ни ухом, ни глазом. Но наука построила те посредствующие вещи или инструменты С, которые дают нам возможность и глазом, и ухом открывать то в имуществе хозяина, чего он не предполагал делать нам известным и в знании чего не нуждались наши далекие предки.

Я говорил о скупости хозяина, одарившего нас органами чувств с ограниченным кругом ощущений. Но наша организация, обуславливающая индивидуальность жизни, такова, что и эта скупость является щедростью. В самом деле наши ощущения должны быть ограничены не только в качестве, но и во времени — в целях самой жизни. Излишнее изобилие ощущений может быть пагубно. Мы снабжены органами, дающими нам возмож-

ность прекращать известного рода ощущения: так, веко дает нам средство устранять действие света; сон — явление, указывающее на периодичность нашего сознания, дает нам возможность совершенно устраняться от восприятия ощущений. Мы получаем впечатления от целого ряда сил, непосредственно не действующих на наши чувства, при помощи научных инструментов; устраняя последние, мы защищаем наше восприятие от ощущений, соответствующих новым для наших чувств областям природы.

Если бы все сигналы природы оказывали на нас воздействие и воспринимались нами, то, вне сомнения, они не могли бы служить к развитию нашего интеллекта или сознания, так как в результате очень быстро, после начала процесса жизни, наступило бы переутомление индивидуума. Поэтому-то пределы ощущаемых колебаний, т.е. звуков и эфира, ограничены. Наибольшее количество сигналов несется темными лучами, для восприятия которых в отдельности природа не одарила нас специальными органами. Для них и многого другого, нам неизвестного, существует одно общее неопределенное ощущение, которое частью чувствуется нами как тепло и холод, а по существу представляет своего рода сумерки, среди которых мы не отличаем отдельных контуров, — тот фон, тот климат, в котором мы живем и раздражения которого в большинстве случаев или отсутствуют или не доходят до нашего сознания.

Но, несмотря на ограничение природою круга наших ощущений, на предоставляемые нам ею способности защиты от их излишества, несмотря на громадные усилия, потраченные природою в течение миллионов лет на выработку плана нашего организма, в нем накапливаются источники вредных сопротивлений его функционированию; он все-таки изнашивается, и самое драгоценное свойство жизнедеятельности — сознание — есть не только явление периодическое, но вместе с тем затухающее с временем, подобное затухающим колебаниям маятника, не поддерживаемым падением гири или упругостью пружины. Человек всю свою жизнь носит в себе непримиренным факт, с которым он неизменно борется в создаваемых им механизмах, увлекаясь в этой борьбе до стремления осуществить невозможное — машины вечного движения, параллельно создаваемому им миражу *perpetuum mobile* в своем духовном мире!

На почве этих дисгармоний наука и чувство солидарности создают искусственные меры защиты и совершенствования человеческой организации, и только создаваемое ими и передаваемое от поколения к поколению, не затухающее, а возрастающее, осуществляет *perpetuum mobile* в истории человечества.

Приведенные рассуждения еще в несколько туманных чертах намечают положение человека и живого во Вселенной. Оно станет ясным, когда



мы полнее взвесим картину, открывающуюся нам во Вселенной и которую мы обозначили только фразой — капля материи и океан пустоты.

В самом деле, какую долю Вселенной занимает материя? Окружим нашу планетную систему шаром, радиус которого равен половине расстояния Солнца до ближайших звезд. Объем этого шара примем за объем нашего мира. Опишем теперь из Солнца, как из центра, другую, меньшую сферу, радиусом, равным расстоянию от нашего Солнца до крайней планеты. Я допускаю, что материя нашего мира, скученная к одному месту, займет не более  $1/10$  объема планетной сферы: думаю, что цифра значительно преувеличена. После подсчета объемов окажется, что в нашем мире объем, занятый материей, относится к объему пустоты, как единица к числу, изображаемому цифрой 3 с 13-ю нулями. Это отношение равно отношению 1 секунды к миллиону лет.

По вычислению лорда Кельвина, плотность материи, соответствующая такому отношению, была бы в десять тысяч миллионов раз менее плотности воды, т.е. находилась бы еще в крайних степенях разрежения.

Если бы на Землю спустился житель Марса и пожелал бы ознакомиться с представлением человека о Вселенной, какой ответ дал бы ему добросовестный ученый? На заводе с быстро работающими машинами изготовлялось столько белых шаров, сколько секунд в миллионе лет. Ученый берет один из них и ищет на его поверхности все известные нам свойства и законы материального мира, так как нашему изучению доступна только материя. Бросив исписанный шар в груды остальных, он подводит к ней марсианина со словами: вот наше представление о Вселенной! Обитатель Марса протягивает руку, берет шар — конечно, ему попадает чистый — и говорит — пусто, второй, третий и т.д. раз, и все — пусто. Вероятность, что он в своем испытании вытянет шар, исписанный ученым, — ничтожна: на шанс в его пользу приходится столько шансов против, сколько секунд в миллионе лет. Гость скажет: «Человек, ты не имеешь представления о Вселенной», — и улетит на свою планету!

Когда в целой массе вещей, мертвых или живых, нам попадаются экземпляры особой формы или с особыми свойствами только после продолжительных поисков или испытаний, мы называем их редкими вещами. Мы заключаем, что условия их окружающие мало благоприятны их существованию или образованию, иными словами, что при данных условиях появление этих редких вещей представляет маловероятное событие. В той громадной лаборатории и фабрике вещей и явлений, какую представляет из себя Вселенная, осуществляются всевозможные случайности. Одни из них повторяются много раз в одинаковых сочетаниях и дают события крупные, занимающие наиболь-

шие пространства Вселенной; для их образования в ее распорядке имеется наиболее шансов. Другие осуществляются в чрезвычайно редких сочетаниях; они незначительны в числе и непрочны во времени. Это события маловероятные. Картина, которая была вам только что нарисована, говорит, что при наличном распорядке Вселенной материя представляет в ней в высокой степени маловероятное событие.

Наша Земля составляет только долю массы планетной системы. Жизнь, протекающая на поверхности Земли, захватывает еще меньшую долю материи Земли. Если материя есть маловероятное событие во Вселенной, то какую же ничтожно малую вероятность представляет собою осуществление жизни!

«Жизнь есть событие Вселенной, имеющее ничтожно малую вероятность». В этом мы находим объяснение неуловимости в мертвой материи тех признаков, редким сочетанием которых творится жизнь. Всякому маловероятному событию грозят чрезвычайные опасности. Его сохранение требует борьбы.

Во имя этой борьбы совершается тяжкая и кипучая работа естествознания.

Определяется и отношение к жизни необъятного колосса, именуемого космосом. Для него жизнь вообще, тем более жизнь индивида, есть «une quantite negligeele»\*.

Жизнь есть пасынок Вселенной.

Разумность, причинность, случайность суть понятия человеческие, и потому для возможно полного выяснения высказанного взгляда уместно описать естественные способы развития живого с антропоморфной точки зрения. С этой целью мы воспользуемся уже ранее употребленным приемом: я представлю себе опять Вселенную с хозяином, фабрикующим живое и следящим за судьбою своих фабрикатов. Этот хозяин есть символ сил, творящих, оберегающих и приспособляющих жизнь, естественного подбора и борьбы за существование. Вот как изображается его деятельность естествознанием: его действия и поступки очень медленны; они продолжаются тысячи, десятки и сотни тысяч и даже миллионы лет. Хозяин ничего не может закончить сразу; в свою работу он вносит нескончаемые поправки, и одно дело не один раз противоречит другому.

Приведем несколько примеров. Хозяин вырастил змей, а также зверей, их поедающих. Приходится вводить поправку. В зубах одной из змеиных пород он продельвает полости и наполняет их ядом. Зверь не трогает более этой породы, но он начинает пожирать другую. Нужна новая поправка: в шкуре неядовитой змеи хозяин прокладывает систему трубок с пузырьками. Цель механизма такая: у змей, испуганной приближением зверя,

\* В количественном отношении ничтожна (франц.). — *Примеч. ред.*

сжимаются мышцы и вложенный в шкуру механизм подделывает ее рисунок и цвет под кожу ядовитой змеи. Испуганный зверь убегает прочь.

Хозяин вырастил гусениц и поедающих их птиц. Опять нужна поправка. Гусеницы дрессируются, и в них развивается искусство подражания ветвям и сучьям тех деревьев, которые дают им пристанище и пищу. Птица обманута. Но увы, среди гусениц оказалась порода с такими толстыми индивидами, которые никоим образом не могли воспринять дрессировки и вытягиваться сучком. Хозяин приучает свое творенье выпячивать огромные глазчатые пятна, наводящие ужас. И улетает птица, дрожащая от страха перед испуганною тварью.

Не одним страхом, но и дружеством пользуется хозяин в починках своих произведений. Он произвел некое растение — и вырастил муравья-грабителя, поедающего его листву. Но выращивая различные типы живого так же случайно, как случайно выпадает то или иное число очков на костях, которые мечутся игроком, хозяин вырастил и такую породу муравьев, которая враждует с муравьем-грабителем и питается соком растения. Хозяин учит этих муравьев проникать внутрь вздутый ствол растений и превращать их в свое жилище. Муравей-грабитель не трогает более растение, которое пышно распускает свои листья.

И всюду в живом одна и та же метода, и не довольно ли примеров, не довольно ли доказательств того, что с естественными приемами природы при всей их хитроумности не может уживаться разумная, планомерная человеческая жизнь. Не ясно ли, что проповеди, рисующие блаженство человека, перешедшего к естественному, упрощенному и освобожденному от науки состоянию, делают его игрушкой случайностей! В высокой степени остроумные естественные методы жизненных поправок

должны быть подчинены принципам, рожденным среди случайностей, но несущим в себе наиболее счастливые, благоприятные шансы — как утверждающие эпиграф настоящей статьи.

Что дают в конце концов естественные методы, предоставленные своему собственному течению?

Улетим нашею мыслью со сверхсветовою скоростью в пространство и уловим в нем картины, унесенные когда-то лучами света, отброшенными Землей в различные периоды ее истории. Мы увидим жизнь, бьющую ключом на нашей планете во всех царствах природы в течение миллионов веков. Спустимся на Землю, и вскроем ее кору. Мы увидим совершенно иную, подавляющую картину: сплошное кладбище, и не обычное, привычное нам кладбище индивидов, а вымерших форм, типов, рас — от микроскопических до крупнейших. Кто тот браковщик, с таким широким размахом бракующий не индивиды, а выбрасывающий целые типы из обихода земли?

Этот браковщик скрыт в самых методах изображенной мною естественной истории жизни, в ее рождении из случайностей, среди которых она является событием с чрезвычайно малою вероятностью!

Но живое, как все явления природы, развивается в сторону наиболее вероятных форм, наиболее способных к борьбе за жизнь, наиболее устойчивых для данного момента. И в этом направлении появился на Земле разум во всеоружии научного знания: это — последняя ставка живого! Последняя ставка!

Кто снимет с жизни облик преходящего момента в эволюции нашей планеты?

И с несомненностью открывается смысл нашего существования, нашей жизни, величественная задача человеческого гения: *охранение, утверждение жизни на Земле.*

# Новости науки

## Астрономия

### Необычная планетная система звезды HR 8799

До сих пор значительную часть внесолнечных планет открывают методом лучевых скоростей, т.е. используя незначительные колебания лучевой скорости центральной звезды, вызываемые притяжением невидимой планеты или планет. Однако в последние годы благодаря совершенствованию астрономической техники удалось наконец реализовать давнюю мечту — получить непосредственные изображения планет и у других звезд. Одна из таких планетных систем принадлежит молодой звезде HR 8799 из созвездия Пегаса, удаленной от нас на 129 св. лет. Два года назад с помощью телескопов «Кеск» и «Gemini» (Гавайские о-ва, США) в инфракрасном диапазоне были сфотографированы сразу три спутника этой звезды на расстояниях 24, 38 и 68 а.е. от нее. Все они относятся к планетам-гигантам и имеют массы 10, 10 и 7 масс Юпитера соответственно. И вот теперь более подробный анализ изображений показал, что в этой системе есть четвертая планета. Это еще один гигант, в 10 раз массивнее Юпитера, находящийся на расстоянии 14.5 а.е. от звезды. Система HR 8799 — это единственный известный пример «широкой» планетной системы, т.е. системы, в которой большие полуоси планетных орбит измеряются десятками астрономических единиц.

Сейчас рассматриваются два основных механизма образования планет-гигантов — гравитационная неустойчивость и аккреция на ядро. В первом случае планета образуется сразу, в результате гравитационного «скупивания» части

вещества диска. Второй механизм — двухэтапный и потому более длительный: сначала в диске формируется каменное ядро, а на нем затем нарастает мощная газовая оболочка. На расстояниях до звезды менее 20—40 а.е. диск гравитационно устойчив, и потому там должен действовать сценарий аккреции на ядро. На больших расстояниях из-за малой плотности вещества диска характерное время образования планеты-гиганта по сценарию аккреции на ядро становится больше типичного времени жизни диска, и значит, планеты там могут формироваться только в результате гравитационной неустойчивости.

Проблема системы HR 8799 состоит в том, что в ней, как теперь выяснилось, есть и далекие, и близкие планеты. Ближайшая к звезде планета HR 8799e в результате аккреции на ядро могла сформироваться примерно за 10 млн лет, до диссипации диска. А вот для планеты HR 8799c, расположенной на расстоянии 38 а.е. от звезды, время аккреционного формирования составило бы уже около 200 млн лет — неприемлемо долго. В модели гравитационной неустойчивости такой проблемы для далеких планет нет, но она неспособна объяснить формирование самой близкой к звезде планеты, которая расположена в зоне гравитационной устойчивости диска.

«Вообще, нет запрета на то, чтобы в одной системе действовали оба сценария, — замечает один из авторов работы К.Маруа (Ch.Marois; Институт астрофизики Герцберга, Канада). — Но в данной системе планеты слишком похожи друг на друга по массам и по динамике, чтобы можно было допустить принципиально разные сценарии их формирования». Одно

из вероятных объяснений состоит в том, что все планеты образовались либо ближе к звезде, либо дальше от нее, а свои нынешние положения заняли в результате динамической эволюции орбит. На возможность такой эволюции указывает орбитальный резонанс 1:2:4, в котором находятся планеты *c*, *d* и *e*: за один оборот планеты *c* планета *d* делает два оборота, а планета *e* (внутренняя) — четыре. Однако пока неясно, могут ли столь массивные планеты совершать масштабные взаимные перемещения с сохранением общей устойчивости системы. Ответ на этот вопрос даст только дальнейшее динамическое моделирование. Авторы работы надеются, что в будущем им удастся изучить и другие «широкие» системы, а это может пролить свет и на эволюцию Солнечной системы, в которой тоже были возможны ранние перемещения планет.

Nature. 2010. V.468. №7327. P.1080–1083 (Великобритания).

## Генетика

### Тибетцы адаптированы к высокогорью на генетическом уровне

Высокогорный Тибет был заселен людьми в середине голоцена или даже в позднем плейстоцене (от 21 до 5 тыс. лет назад). Жизнь в высокогорье при малой концентрации кислорода в воздухе привела к возникновению ряда физиологических черт, направленных на поддержание нормального аэробного метаболизма в условиях постоянной гипоксии. Эти признаки уникальны и отличают тибетцев от обитателей и равнин, и других горных стран. Для жителей Тибета характерны понижен-



ное содержание кислорода в артериальной крови, повышенное его остаточное содержание в легких, отсутствие гипоксического сужения кровеносных сосудов, уменьшенная в среднем почти на четверть (на 36 г/л) концентрация гемоглобина в крови и некоторые другие особенности.

Генетики из США и КНР (Медицинская школа Университета штата Юта в г. Солт-Лейк-Сити и Исследовательский центр высокогорной медицины в г. Синин) изучили геном тибетцев полукочевых кланов из округа Мадоу провинции Цинхай, расположенного на высоте около 4350 м над ур.м. Оказалось, что генетически жители Тибета выделяются в отдельную группу, близкую между тем к обитателям низменной части Восточной Азии — китайцам и японцам. Несмотря на это сходство, установленное по расчетам генетических дистанций, в геномах практически полностью отсутствуют признаки смешения высокогорных и равнинных популяций, по крайней мере в последние 5 тыс. лет.

В геноме тибетцев выявлено 10 генов, связанных, по мнению исследователей, с высотной адаптацией. Два из них (*EGLN1* и *PPARA*) ответственны за низкую концентрацию гемоглобина в крови — вероятно, ключевой в обеспечении адаптации к условиям высокогорья и четко наследуемый у тибетцев признак. Связь между уровнем гемоглобина в крови и наличием указанных гаплотипов в геноме тибетцев настолько существенна, что каждая дополнительная копия выгодного гена уменьшает концентрацию гемоглобина в среднем на 17 г/л.

Функциональный анализ генов типа *EGLN1* и *PPARA* поможет в дальнейшем понять природу адаптации к условиям высокогорья. Кроме того, результаты будут иметь важное медицинское значение — для предотвращения и лечения «горной болезни», связанных с ней легочного и мозгового отеков и других обусловленных гипоксией заболеваний.

Science. 2010. V.329. №5987. P.72–75 (США).

## Зоология

### Плюющие кобры

У некоторых видов кобр одним из наиболее изощренных и коварных способов атаки на врага служит «выстреливание» ядом в глаза. Отверстие выводящего канала в ядовитых зубах находится не в нижней их части, а на передней поверхности. Защищаясь, змея приоткрывает пасть и резким сокращением мускулатуры, окружающей ядовитые железы, выдавливает из них яд с такой силой, что он тонкой струйкой выбрасывается на расстояние до 2 м. Попадая в глаза, яд вызывает сильнейшее жжение и может привести к слепоте. Такой способ не смертелен для врагов кобры, но, конечно, весьма эффективен. Несколько видов и разновидностей кобр, освоивших его, получили название плюющих.

Следует отметить, что «стрелять» ядом способны даже только еще вылупляющиеся из скорлупы детеныши. Вот это поведение новорожденных плюющих кобр вида *Naja pallida* исследовали в лабораторных условиях ученые из двух американских и одного немецкого университетов — Б.Янг, М.Бетиг и Г.Вестхофф<sup>1</sup>.

Яйца кобр развивались в инкубаторе. У вылупившихся детенышей провоцировали выплевывание яда и регистрировали его количество, а с помощью видеосъемки фиксировали траекторию «плевка» и кинематику головы во время выброса яда. Результаты сравнивали с аналогичными характеристиками у взрослых особей. Оказалось, что вылупляющиеся детеныши выбрасывают больше яда (относительно массы тела), чем взрослые кобры. При этом разлет яда, определяемый давлением в ядопроводящих каналах, ориентацией и движениями головы, происходит у детенышей так же, как и у взрослых. Своеобразное раскачивание головой из стороны в сторону при «стрелье» ядом отмечается и у новорожден-

<sup>1</sup> Young BA, Boetig M, Westhoff G. // Herpetological J. 2009. V.19. №4. P.185–191.

ных кобрят, однако диапазон такого раскачивания у малышей шире, чем у взрослых. Конечно, дальность плевка у детенышей значительно меньше, чем у родителей, причем, в отличие от взрослых, они нередко метят в цель, находящуюся гораздо дальше расстояния, достигаемого их плевками.

Таким образом, принципиальная схема «плевания» ядом у новорожденных и взрослых кобр одинакова, видимо, определяются генетически. Однако у малышей она действует не столь слаженно, как у взрослых. Очевидно, в период онтогенеза происходит наладка механизма выброса яда, его функционирование улучшается, а эффективность возрастает.

© Д.В.Семенов,

кандидат биологических наук  
Москва

## Биология моря

### Кожистая черепаха обычна в водах у Курильских островов?

Кожистая черепаха *Dermochelys coriacea* — самая крупная из современных черепах. Наибольший экземпляр этого вида, оказавшийся самцом массой 916 кг и общей длиной 291 см, был обнаружен выброшенным на берегу уэльского побережья Великобритании в 1988 г. Как сообщили Ю.П.Полтев, А.О.Шубин (Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии) и М.М.Прокофьев (Сахалинский областной краеведческий музей, Южно-Сахалинск), в период с 1964 по 2007 г. в тихоокеанских водах южных Курильских о-вов было документально зафиксировано три случая поимки кожистой черепахи *D.coriaceae*. Все случаи относятся к летнему периоду, когда температура воды на поверхности составляет 11.0–12.2°C.

Распространена кожистая черепаха в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах от Лабрадора, Исландии, Британии, Норвегии, Аляски и Японии на юг до Аргентины, Чили, Австралии и мыса

Доброй Надежды. Предполагается существование двух подвидов, которые, однако, слабо различаются. В тихоокеанских территориальных водах России известно более десятка поимок или находок кожистой черепахи — в Японском море, у Курильских о-вов и Камчатки. Но особое внимание авторов привлекли данные о поимках кожистых черепах в период промысла лососей. Первый случай отмечен 14 июля 1964 г., когда в дрейферные сети японской рыболовной шхуны (координаты 45°20'с.ш., 155°00'в.д.) попала крупная (600 кг) кожистая черепаха; исписав панцирь пожеланиями удачного промысла, рыбаки вернули ее в родную стихию. Второй случай произошел 26 августа 2001 г., когда в дрейферные сети российской шхуны (координаты 46°23'с.ш., 157°00'в.д.) попала кожистая черепаха, имевшая длину панциря 1.6 м и массу около 180 кг. Третий случай отмечен 24 августа 2007 г. в координатах 45°25'1"с.ш., 151°11'3"в.д. Размеры кожистой черепахи определены по фотографии, не поднимая ее на борт, а лишь освободив от сетей.

Таким образом, все три случая поимки наблюдались в летний период при температуре воды на поверхности 11–12.2°C. Необходимо подчеркнуть, что температурный режим 10–12°C оптимален при дрейферном промысле лососевых. В районах с более высокой поверхностной температурой уловы лосося снижаются, поэтому рыбаки таких участков избегают, в связи с чем отсутствует информация о вполне вероятных там встречах с кожистыми черепахами. Отсюда следует, что имеющиеся в настоящее время сведения о кожистых черепахах в курильских водах не отражают реального числа их заплывов в этот район.

Чрезвычайно интересна в связи с этим археологическая находка<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Василевский А.А.* Охотская культура на Хоккайдо и Курильских островах VII—XI вв. // История Сахалина и Курильских островов с древнейших времен до начала XXI столетия. Южно-Сахалинск, 2008. С.209.

обломков глиняного сосуда на восточной окраине пос.Рейдовое на о.Итуруп, сделанная в 1972 г. На сосуде изображен массовый ход лососей, преследуемых черепахой. Исходя из того что ход горбуши на Итурупе происходит со второй декады июля до второй декады сентября и совпадает по времени с отмеченными выше поимками, можно предположить, что именно кожистая черепаха и была изображена на сосуде. Судя по особенностям декоративного стиля, рисуночная композиция относится к охотской культуре VII—XI вв. Из этого следует, что заплывы кожистых черепах в южнокурильские воды не связаны с какими-либо климатическими событиями 20-го столетия, а обычны для части ее популяции на протяжении достаточно длительного времени.

Биология моря. 2010. Т.36. №6. С.451–454 (Россия).

### География. История науки

#### По следам погибшей экспедиции Джона Франклина

В конце 2010 г. канадские археологи сообщили о наметившихся успехах в поисках следов исчезнувшей 155 лет назад экспедиции английского полярного исследователя сэра Дж.Франклина.

Как известно, в марте 1845 г. Франклин возглавил экспедицию на судах «Террор» и «Эребус», отправившуюся в Арктику с целью отыскать Северо-Западный проход в Тихий океан. Закончилась она гибелью всех ее участников. В последний раз корабли были замечены в июле 1845 г. у входа в пролив Ланкастер. Спустя три года на поиск и спасение экспедиции было отправлено несколько кораблей, однако все усилия оказались тогда безрезультатными.

Сотрудник археологических учреждений Канады М.-А.Бернье (М.-А. Bernier), активно занимающийся поисками кораблей «Террор» и «Эребус», сообщил, что на одном из последних космических снимков замечен у берегов залива

Мерси-Бей корабль «Инвестигейтор» — один из посланных на поиски экспедиции Франклина, который, однако, был блокирован льдами и после трех зимовок оставлен своей командой. А на суше археологи нашли могилы трех моряков «Инвестигейтора», умерших в 1853 г. от цинги.

Бернье убежден, что в скором времени корабли, ставшие легендами, будут обнаружены.

Sciences et Avenir. 2010. №763. P.27 (Франция).

### Археология

#### Древнейшие поселения на Самбийском полуострове

Благодаря спасательным археологическим работам, развернувшимся на территории Калининградской обл. в зонах сооружения подземного хранилища газа у пос. Романово и скоростной автодороги Калининград—Храброво—Зеленоградск, представилась уникальная возможность для изучения культурной ситуации, сложившейся на Самбийском п-ове начиная с бронзового века и до раннего Нового времени. Раскопки, проведенные Самбийской археологической экспедицией Института археологии РАН (руководитель — автор этого сообщения), позволили исследовать более двух десятков поселений и могильников, основная часть которых относится к концу 1-го тысячелетия — первому веку 2-го тысячелетия. Впервые на этой территории были археологически изучены рядовые сельские поселения.

Как правило, памятники 1-го тысячелетия расположены на невысоких пойменных возвышениях, иногда на склонах коренного берега, в удалении от рек и ручьев. Среди поселений, которые были раскопаны нами полностью или на значительной площади (10–24 тыс. м<sup>2</sup>), обычно выделяются четыре-пять дворов или усадеб, отделенных друг от друга большими незастроенными участками. Судя по расположению материковых ям, постройки име-



Серебряная фибула (слева) и умбон щита. Самбия, могильник Алейка III, римское время.

ли каркасно-столбовую конструкцию. Основную часть находок из ям составляют фрагменты лепной керамики. Анализ керамического материала позволил отнести эти поселения к римскому времени. Подтверждают такую датировку редкие находки медных и серебряных римских монет II в., а также некоторые типы стеклянных бус и украшений из янтаря.

К числу наиболее ярких находок относятся материалы, обнаруженные в могильниках двух эпох — римского влияния и Великого переселения народов II—VI вв., здесь нашли свое отражение предыстория и ранние этапы формирования прусской культуры.

Могильники, располагавшиеся обычно на вершинах или пологих склонах холмов, представляют собой поля погребений, которые проводились как в форме кремаций, так и в форме ингумаций. В римское время погребения-ингумации в подпрямоугольных мо-

гильных ямах сменяются кремациями, остатки которых сохранились в виде сожженных на стороне. Эти остатки либо помещались в лепные керамические урны или во вместилища из органических материалов, либо ссыпались на дно могильных ям, над которыми часто сооружались каменные выкладки. Нередко над кремациями мужчин или рядом с ними совершались погребения коней. Сопровождавший такие захоронения погребальный инвентарь обычно представлен предметами вооружения и воинского снаряжения, в числе которых — ножи-кинжалы, наконечники копий и щиты с железными умбонами (бляхами, защищающими руку воина от пробивающих ударов), поясные и портупейные наборы. Среди погребального инвентаря встречаются и украшения — шейные гривны, ожерелья из стеклянных и янтарных бус, фибулы (застежки), браслеты, а также лепные со-

коней могли сопровождаться деталями сбруи.

В некоторых могилах эпохи римского влияния обнаружены предметы импорта — золотое кольцо, литая серебряная ложечка, некоторые типы фибул и портупейных пряжек, а также серебряные или медные римские монеты — эти вещи свидетельствуют об особом статусе их владельцев. Подобные «статусные» вещи встречаются и в могилах эпохи Великого переселения народов.

Важная отличительная черта захоронений — присутствие в них большого количества янтарных украшений и кусков необработанного янтаря, добывавшегося на территории древней Самбии начиная с неолита.

Судя по числу погребений на исследованных участках и с учетом общей площади памятников можно полагать, что здесь находились тысячи захоронений.

© А.Н.Хохлов

Москва



# Вселенная вселенных

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга  
Москва

Сегодня всякий знает, что история нашей Вселенной началась с Большого взрыва, а до него ничего не было. Однако встречаются люди, которые заканчивают свой рассказ о последних научных изысканиях в области космологии словами: «...а затем последовал Большой взрыв!» В своих представлениях об эволюции мира эти ученые напоминают мне врачей-акушеров, для которых момент появления ребенка на свет, момент его рождения — это всего лишь конец длинной цепи интересных и сложных событий, предшествующих заурядной биографии родившегося человека. Именно они — события ДО Большого взрыва, во многом еще таинственные и загадочные, — представляют интерес для таких «акушеров Вселенной», как Алекс Виленкин. Все, что было после Большого взрыва, представляется ему тривиальным, а вот предшествовавшие этому взрыву события он считает действительно достойной темой для работы современного физика.

Трудно с этим не согласиться: описать акт творения мира языком точной науки — заманчивая и нелегкая задача для теоретика. Но ненамного легче задача — простым языком рассказать о том, как решается такая сложная проблема. На мой взгляд, автору это удалось. Книга Виленкина читается легко, в один присест, почти как детектив, поскольку речь в ней идет не только о «начале времен», но и об их конце. А кто же из нас откажется узнать будущее нашей Вселенной?

© Сурдин В.Г., 2011

В этой сравнительно небольшой по объему книге нашлось место и для изложения бытовавших ранее представлений об эволюции Вселенной, и о проблемах, вставших перед этими представлениями, и о том, какие нетривиальные идеи родились в последние годы у космологов. Подкупает и то, что рассказ ведется от первого лица. Автор — непосредственный участник работы над новой космологией, ученый того поколения, которое уже не ограничивает себя рамками существующей физики, а готово создавать новую физику для развития красивых идей относительно эволюции Вселенной. В книге упомянуто сравнительно немного имен, в основном тех ученых, с которыми непосредственно сотрудничал автор или ощущал их прямое влияние на свою работу. Поэтому особенно приятно, что в этом «космологическом мейнстриме» постоянно звучат имена наших ученых: от классиков до современников. Разумеется, вопросы приоритета не всегда обсуждаются достаточно четко. Но если не придираться, то следует признать, что в целом рассказ получился, хотя и несколько поверхностный, но очень интересный для самого широкого читателя.

Книга Виленкина «проглатывается» без напряжения. Очевидно, что «виновата» в этом не только легкость авторского пера, но и задача, поставленная перед ним издателем. В качестве ориентира автору был предъявлен не самый продвинутый читатель, которому нужно объяснить, что  $10^{40}$  — это единица с сорока нулями, что  $i$  — это квадратный корень из минус еди-



**А.Виленкин.** МИР МНОГИХ МИРОВ: ФИЗИКА В ПОИСКАХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВСЕЛЕННЫХ. Пер. с англ. А.Сергеева.

М.: АСТ; Астрель; CORPUS, 2010. 303 с. (Элементы.)

ницы и что световой год — это единица расстояния, а не времени. Подозреваю, что любителей физики такое отношение может раздражать, но краткость слога и идейное богатство текста делают чтение этой книги интересным даже для продвинутых знатоков физики. Ну а тем, кто ищет особой глубины, нужно с первой страницы иметь в виду, что эта книга из разряда тех, у которых каждая формула в тексте снижает количество проданных экземпляров вдвое. Поэтому в ней нет ни одной формулы (разумеется, кроме  $E = mc^2$ , которую сегодня можно встретить даже в руководствах по вязанию). Будем оправдывать это тем, что продемонстрировать нам широкую панораму современной космологии автор мог лишь с таких высот, откуда формулы просто не видны.

Ну а в чем же состоит изюминка этой книги, отличающая ее от прочих рассказов «для пешеходов» о современной космологии? Учитывая, что книг на русском языке о том, что было до Большого взрыва, вообще очень мало, я считаю, что в исполнении Виленкина рассказ о модели вечной хаотической инфляции стал лучшим и наиболее доходчивым. Разумеется, если вы не физик-теоретик, то вам остается лишь верить автору, что в природе действительно возможно такое: из вакуума нулевого объема (т.е. из ничего!) может вдруг родиться и за фантастически малую долю секунды вырасти до невообразимого объема (это и называют инфляцией) сверхвселенная, которая, оставаясь замкнутой и конечной, содержит внутри себя неограниченное количество бесконечных островных вселенных! «Бред какой-то...» — скажет нормальный человек, прочитав только эту фразу. Но автор книги «Мир многих миров» так ненавязчиво подводит вас к мысли об островных вселенных в море инфлирующего пространства-времени, что в конце концов вам эта мысль

покажется естественным развитием доброй старой космологической картины мира.

Однако не расслабляйтесь: впереди вас ожидает еще более суровое испытание. Объединив сценарий вечной инфляции с представлениями квантовой механики о конечном числе состояний любой системы, автор приходит к поразительному выводу: все уже было! Среди бесчисленного набора вселенных непременно найдутся копии нашей, причем в бесчисленном количестве. В этом множестве миров найдутся такие, где внутри такой же, как наша, галактики мчится аналог Солнечной системы... Далее можете сами продолжить этот ряд и прийти к тому же заключению, что и автор книги:

«Удивительным следствием этой новой картины мира является существование бесконечного числа миров, идентичных нашему. Да, дорогой читатель, десятки ваших дублей держат сейчас в руках эту книгу. Они живут на планетах, в точности таких же, как наша Земля со всеми ее горами, городами, деревьями и бабочками. Эти Земли обращаются вокруг точных копий Солнца, и каждое Солнце принадлежит огромной спиральной галактике — точной копии нашего Млечного Пути».

Развивая эту тему, автор назвал один из разделов своей книги «Прощание с уникальностью»:

«В представлениях древних мы, люди, были центром Вселенной. Небо располагалось не слишком далеко, и судьбы людей и царств можно было прочесть по звездам и планетам на его бархатном своде. Наш уход с авансцены начался с трудов Коперника и длился вплоть до конца прошлого столетия. Не только Земля не является центром Солнечной системы, но и само Солнце — лишь рядовая звезда на окраине довольно типичной галактики. И все же нас грела мысль, что на Земле есть нечто совершенно особенное — что это единственная планета с данным конкретным на-

бором жизненных форм и что человеческая цивилизация с ее искусством, культурой и историей уникальна во всей Вселенной. Можно было думать, что эта единственность — достаточное основание, чтобы охранять нашу маленькую планету, как драгоценное произведение искусства.

Теперь мы лишились и этой последней претензии на уникальность. В картине мира, возникающей из теории вечной инфляции, Земля и наша цивилизация никак не могут считаться уникальными. По бесконечным просторам космоса разбросано бесчисленное множество идентичных цивилизаций. С этим понижением статуса человечества до абсолютной космической ничтожности наш путь прочь от центра мировой сцены может считаться завершенным».

Таким образом, в предложенной космологической модели принцип Коперника, испытав инфляцию, раздулся до *принципа заурядности* и в очередной раз больно ударил по самолюбию человечества. Впрочем, в космологических идеях Алекса Виленкина нашлось место и для человеческого, а точнее — антропного принципа. Как известно, этот принцип заключается в том, что сам факт нашего существования требует, чтобы физические законы и константы в нашей Вселенной были зажаты в определенных рамках, обеспечивающих условия для зарождения и эволюции жизни. В целом история и проблемы антропного принципа описаны в книге верно, но не вполне четко. Например, автор отталкивается от существования во Вселенной мыслящего существа, человека, но никому еще не удалось сформулировать физические требования ко Вселенной, вытекающие из наличия в ней именно разумного существа и отличные от требований, обеспечивающих наличие жизни как таковой. Концентрация автора на «человеке разумном» придает антропному принципу религиозный оттенок, совершенно неконструк-



Это не так-то просто — завести Вселенную.



И пусть посмеет мне кто-нибудь сказать, что Вселенная — создание сверхъестественных сил!

Рисунки Жана Эффеля из серии «Сотворение мира»

тивный с точки зрения физической космологии. При этом у самого автора не заметна склонность к религии, скорее наоборот. К роли Бога он относится в ироническом стиле, напоминая рисунки Эффеля, да и само слово «Творец» употребляет скорее как метафору:

«Многие примеры показывают, что наше присутствие во Вселенной зависит от тонкого баланса различных тенденций, который нарушился бы, будь фундаментальные постоянные существенно отличными от своих фактических значений. О чем говорит нам эта тонкая настройка констант? Указание ли это на Творца, который тщательно отрегулировал постоянные, чтобы сделать возможными жизнь и разум? Возможно. Но существует и совершенно иное объяснение. Альтернативная точка зрения основывается на совершенно ином представлении о Творце. Вместо того чтобы до тошно проектировать одну Вселенную, он небрежно творит их одну за другой, порождая огром-

ное число вселенных с различными и совершенно случайными значениями постоянных».

Разумеется, рассуждая о бесконечном множестве разнообразных вселенных, автор должен был как-то ответить на вопрос, почему мы наблюдаем вокруг себя именно такую Вселенную, обладающую именно такими — далеко не самыми вероятными — свойствами. И тут антропный принцип — надежный помощник: он говорит, что вселенные с иными свойствами существуют без наблюдателей. Однако рассуждения автора книги об антропном принципе оставляют впечатление либо его неглубокого погружения в эту тему, либо сознательного замалчивания предшествующих достижений в этой области. Трудно поверить, что Алекс Виленкин не знаком с самым конструктивным приложением этого принципа — предсказанием свойств ядра углерода, сделанным Фредом Хойлом на том основании, что во Вселенной существует органическая жизнь. Вот эта знаменитая логи-

ческая цепочка: «Хойл живой; для жизни необходим углерод; чтобы в недрах звезд три ядра гелия могли слиться в ядро углерода, оно должно обладать резонансным уровнем энергии, равным сумме масс покоя ядра гелия и ядра бериллия-8 (это два ранее слившихся ядра гелия)». В 1953 г. таким методом Хойл предсказал энергетический уровень ядра углерода-12, и эксперименты физиков подтвердили его прогноз! Что это, если не блестящее использование антропного принципа?

Впрочем, я не собираюсь критиковать книгу за то, чего в ней нет. Она вполне хороша тем, что вложил в нее автор, — духом азартного поиска смысла мироздания, редкими фотографиями, описанием быта физикатеоретика, изящными эпиграфами и историческими экскурсами. Нужно отметить также прекрасный перевод с английского, выполненный Александром Сергеевым, и очень привлекательную обложку, созданную художником Андреем Бондаренко. А вот рабо-



та редакторов книги, к сожалению, не заслуживает похвалы. Я имею в виду как редакторов английского оригинала, так и редакторов перевода. Чтение книги сильно затруднено большим количеством сносок и примечаний. Можно понять автора, стремившегося втиснуть в сравнительно простой текст еще и информацию для знатоков. Но задача редактора в том и состоит, чтобы из текста, написанного автором для себя и своих коллег, сделать книгу, полезную и удобную для читателя. Основной текст этой книги действительно хорош; но уж если дорога была гладко вымощена, то не стоило создавать на ней искусственных препятствий в виде частых примечаний и сносок.

Указанный недостаток вполне можно было сгладить при переводе, но это сделано не было. Вообще, заметно, что редакторы издательства не слишком озабочены качеством книги. У «семи нянек» дитя получилось не без изъянов. В тексте опущены вниз некоторые показатели степени (к примеру,  $10^{34}$  вместо  $10^{34}$ ), заметны ошибки в географических названиях, а «Именной и предметно-тематический указатель» (кстати, весьма полный и удобный по содержанию) указывает читателю совсем не те страницы

книги, где на самом деле располагаются термины. Редакторы книги даже оказались не в курсе, что уже лет 40 как нет в природе «градусов Кельвина», а есть единица температуры кельвин.

Быть может, прав известный деятель просвещения, заметивший недавно, что от качества работы редактора количество проданных экземпляров книги не зависит. Я склонен согласиться с этим утверждением, но лишь в отношении одной конкретной книги. Если же оценивать перспективу издательства в целом, то от качества работы редактора предшествовавшей книги, безусловно, зависит количество проданных экземпляров следующей. Репутация издательства — вполне коммерческая категория.

Разумеется, в указанных недостатках книги нет вины ее автора. Он справился со своей задачей отлично, дав возможность любознательному читателю, даже далекому от физики, почувствовать себя немножко хозяином Вселенной. Много в этой книге говорит о том, что к работе над ней приложили руку опытные американские редакторы, а ее русское воплощение — безусловная заслуга Александра Сергеева. Отмеченные же мной недостатки — на совести издателя.

Сейчас мы переживаем эпоху перехода от бумажных носителей к электронным. Книги и журналы стремительно теряют тиражи, но и в этих условиях некоторые из них стараются держать планку качества, помня: «Что написано пером, не вырубишь топором». В наши дни стало значительно легче порождать мегабайты информации, но по-прежнему сложно создавать качественные произведения. Книга Алекса Виленкина вышла в серии «Элементы», спонсируемой фондом «Династия» Дмитрия Зимина. В целом книги этой серии выделяются отличным подбором авторов и переводчиков. Хотелось бы, чтобы и выбор издателя стал таким же строгим.

Закончив чтение, вы обнаружите рекламный абзац, вынесенный на последнюю страницу обложки: «После выхода этой книги Алексу Виленкину, скромному профессору физики из университета Тафтс, пришлось нанять телохранителей и скрываться от папарацци. Созданная и описанная им теория стала настоящей сенсацией...». Трудно представить общественный интерес такого накала по отношению к нашему отечественному ученому, даже к тем из них, кто выдает первоклассные научные результаты и пишет прекрасные книги. ■

### Математика

**В.А.Лапшин.** ЛЕКЦИИ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИНГВИСТИКЕ. М.: Научный мир, 2010. 248 с.

Книга представляет собой учебный курс по началам математической лингвистики. Она сформирована в виде лекций, поэтому каждая глава содержит материал ровно в том объеме, который может быть прочитан за два часа лектором.

Каждый курс имеет свои особенности. Специфика этого

курса заключается в том, что он рассчитан на аудиторию, состоящую скорее из программистов, нежели лингвистов или математиков. В частности, довольно объемная часть курса посвящена изучению теории конечных автоматов, проблема построения которых наиболее часто возникает в прикладных задачах. В описание попали такие традиционные математические модели, как теория порождающих грамматик Ноама Хомского и теория регулярных языков. Автором изучаются

и другие проблемы, но основная цель курса — познакомить слушателя с основами научного направления, которое принято именовать «математическая лингвистика».

Основное внимание в изложении уделено теории формальных языков. Хотя основы ее были изучены уже более 40 лет назад, в книге наряду с традиционными приведены некоторые новые подходы к определению формальных языков, например основы такого математического формализма,

как окрестностные грамматики мультиграфов синтаксических отношений.

Описываются и другие интересные, но, к сожалению, малоизвестные широкой публике математические формализмы. Например, дано краткое описание математической теории, в которой язык задается как формальный степенной ряд, представляющий собой решение некоторой системы уравнений.

### Биология

**Н.Шубин.** ВНУТРЕННЯЯ РЫБА: ИСТОРИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА С ДРЕВНЕЙШИХ ВРЕМЕН ДО НАШИХ ДНЕЙ. Пер. с англ. П.Петрова. М.: Астрель; CORPUS, 2010. 303 с. (Элементы.)

Увлекательная и остроумная книга Нила Шубина — палеонтолога, первооткрывателя легендарного тиктаалика (промежуточного звена между рыбами и наземными животными) — рассказывает об этапах формирования человеческого тела, а также о том, как сведения о далеком прошлом нашего вида помогают медикам в борьбе с самыми распространенными болезнями сегодняшнего дня.

Автор читает курс анатомии у студентов-медиков Чикагского университета. В ходе летней экспедиции в Арктику ему с коллегами посчастливилось найти ископаемую рыбу, открытие которой во многом пролило свет на выход позвоночных на сушу, совершившийся более 375 млн лет назад. Эта находка вместе с вторжением в область анатомии пробудила желание разобраться в глубинной связи, существующей между двумя этими объектами. Так и возникла эта книга.

Почему мы выглядим так, как выглядим? Что общего между человеческими руками и, допустим, крылышками бабочки? Как связаны между собой воло-

сы, молочные железы и сложное устройство нашего уха? Эти вопросы только кажутся праздными — на самом же деле ответы на них позволят нам лучше понять строение человеческого организма, а значит, найти причину болезней. Автор предлагает читателю совершить увлекательное путешествие к истокам эволюции и посмотреть, как на протяжении трех с половиной миллиардов лет формировалось и совершенствовалось наше тело.

### Геология

**Ю.М.Пущаровский, Д.Ю.Пущаровский.** ГЕОЛОГИЯ МАНТИИ ЗЕМЛИ. М.: ГЕОС, 2010. 140 с.

Глубинную неоднородность строения планеты в целом и нижней мантии в частности основательно раскрыли данные сейсмотомографии, в особенности сейсмотомографические карты, составленные для разных глубинных уровней. Их сопоставление наглядно выявляет естественные группировки сейсмонеоднородностей. Приняв это за основу, один из авторов книги в 1995 г. предложил первую более дробную схему строения мантии, чем ее двучленное деление. В последующие годы схема совершенствовалась, особенно благодаря включению в анализ данных о глубинных минеральных преобразованиях (это было сделано другим автором книги).

Познание геологии мантии Земли — одна из задач наук о Земле. Книга содержит семь глав, посвященных ключевым разделам этой проблемы. На основании анализа сейсмотомографических и минералогических данных с привлечением сведений о внутримантийных сейсмических границах в мантии Земли обособлено шесть геосфер.

Центральный пункт в новой модели — выделение средней

мантии, находящейся на глубинах 840—1700 км. Показано, что между изменениями структурно-минералогических особенностей и важнейшими сейсмическими границами имеется определенная корреляция. Развито положение о тектоногеодинамической активности мантийных геосфер на всех уровнях. Обосновывается заключение о формировании внутримантийных энергетических очагов, образующихся в системах, которые перешли в критическое состояние под воздействием сил трения, возникающих в процессе латерального движения мантийных масс. Тем самым понятие «тектоносфера Земли» распространяется на весь объем мантии. В книге намечена геоисторическая этапность в образовании важнейших геосфер.

### История науки

**СОВЕТСКАЯ ЖИЗНЬ ЛЬВА ЛАНДАУ ГЛАЗАМИ ОЧЕВИДЦЕВ:** Сборник. Сост.: Г.Е.Горелик и Н.А.Шальникова. М.: ВАГРИУС; ЗАО «Плюс-Минус», 2009. 576 с.

Имя знаменитого физика Льва Давидовича Ландау окружено смешными и мрачными легендами, невероятными фактами и правдоподобными выдумками, историческими загадками и загадками самой личности. Автор антисталинской листовки и лауреат Сталинских премий, приверженец свободной любви и верный друг, противник браков и разводов — Дау, как звали его близкие люди, изумил даже своих коллег и друзей, давно знавших его, когда они узнавали о секретных событиях его жизни много лет спустя после его смерти.

В книге собраны наиболее интересные факты и свидетельства очевидцев, воссоздающие исторический контекст гораздо полнее, чем одна, пусть и стройная, версия.

# «Хочу служить людям своей наукой»

*Я хочу и непосредственно приносить счастье людям,  
и служить им своей наукой!*

Из письма Н.М.Субботиной Н.А.Морозову  
8 июля 1906 г.

О.А.Валькова,

*кандидат исторических наук*

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

Нина Михайловна Субботина (1877—1961) была хорошо известна в сообществе советских астрономов не только в довоенные, но и в послевоенные годы. Современный исследователь Н.Б.Орлова, пишет, например, в биографической статье, посвященной астрофизику Дмитрию Ивановичу Еропкину: «Необычайно интересным фактом является близость к семье Еропкиных Нины Михайловны Субботиной — знаменитого астронома-любителя» [1]. Ее работы, посвященные астрономии Древнего мира, все еще актуальны и часто цитируются в научных монографиях. Тем не менее сегодня ни в печатных, ни в электронных средствах массовой информации почти невозможно найти какие-либо биографические сведения об этом безусловно ярком и талантливым ученом и неординарном человеке. Помимо статьи-некролога М.Н.Неуйминой, опубликованной через два года после смерти Субботиной [2], и статьи, посвященной начальному периоду творчества Нины Михайловны [3], кажется, не сохранилось никаких печатных упоминаний о ней. Удивительно сознавать, что такая недавняя по историческим меркам жизнь оказалась настолько полно забыта.

Нина Михайловна Субботина принадлежала к тому поколению русских женщин, которому в юности пришлось отстаивать право на получение выс-

шего образования, а впоследствии доказывать свою способность к интеллектуальному, в том числе научному, труду. Она родилась 25 октября 1877 г. в семье инженера Михаила Глебовича Субботина (1850—1909). Интересом к астрономии Нина Михайловна, по-видимому, была обязана отцу. Как она сама рассказала в письме, написанном в 1910 г. астроному, сотруднику Пулковской обсерватории, впоследствии члену-корреспонденту Императорской Академии наук Сергею Константиновичу Костинскому: «Папа много рассказывал о звездах и показывал их в свою трубу». По сохранившимся письмам Нины Михайловны к друзьям и коллегам можно судить, насколько она гордилась своей семьей. Например, в 1935 г. Субботина писала близкому другу, известному деятелю революционного движения, почетному академику АН СССР Николаю Александровичу Морозову: «Мама с папой оба принадлежали к семье “интеллигентных разночинцев”, и еще мамин прадед был писатель — конца XVIII в., сотрудник Новикова, дед — профессор МГУ. Бабушка видала в детстве Пушкина, потом Белинского, Гоголя, принимала у себя Грановского, Кудрявцева, Рулье и др[угих] тов[арищей] ее отца. Была оч[ень] культурная. Папа вырос на идеях Чернышевского и также воспитал нас. Ни тени принуждения: это был наш друг и руководитель, и друг учащейся молодежи» [4].

Естественный шаг для молодого человека, стремящегося посвятить свою жизнь науке, — получение высшего образования. Однако в середине 90-х годов XIX в., когда Субботиной исполнилось 17 лет, девушка в Российской империи, какой бы талантливой и хорошо подготовленной она ни была, по закону не имела права поступать в университеты. Возможной альтернативой, по целому ряду причин доступной далеко не для всех, было поступление в один из европейских (преимущественно германских или французских) университетов. Неизвестно, обсуждалась ли подобная возможность в семье Субботиной, но она ею не воспользовалась, предпочтя вначале самообразование, а впоследствии обучение на Высших женских Бестужевских курсах в Петербурге.

В 1895 г. Нина Михайловна впервые посетила Пулково. Это событие оказалось настолько важным для нее, что она помнила о нем всю жизнь. Спустя много лет, в 1935 г., она писала Костинскому: «Как быстро бежит время: давно ли я, кажется, была в Пулково в 1-й раз 30/VIII 1895 г. и Вы показывали мне Обсерваторию, а вот уже прошло 40 лет!». Начало своей научной деятельности сама Нина Михайловна относила в 1898 г., а уже 13 мая 1899 г. она была избрана действительным членом Русского астрономического общества. В том же году Субботина на собственные средства приобрела четырехдюймовый ре-





Н.М.Субботина у телескопа. 1950-е годы.

фрактор Reinfelder'a и еще некоторые приборы и устроила частную обсерваторию в семейном имении Соболяки Можайского уезда Московской губернии. Устанавливать рефрактор приезжал тогда еще начинающий преподаватель Московского университета Павел Карлович Штернберг (1865—1920). С этого времени Нина Михайловна посвятила себя астрономическим наблюдениям. Она систематически изучала солнечные пятна, поверхности больших планет, кометы, переменные звезды, потоки Персеид и Леонид и др. Данные, полученные в результате систематических, проводившихся на протяжении более чем 10 лет (с 1899 по 1910 г.) наблюдений солнечных пятен, целиком вошли в опубликованные материалы профессора Цюрихского университета, директора Швейцарской федеративной обсерватории Alfred'a Wolfer'a (1854—1931), собиравшего сведения по статистике солнечных пятен. Частично результаты были опубликованы также и в российской печати. Архив многолетних наблюдений метеоров (начиная с 1901 г.) был передан Субботиной Русскому обществу любителей мироведения (отделом метеоров этого общества Нина Михайловна руководила до 1914 г.) [5]. Помимо этого

она проводила в Соболяках метеорологические наблюдения светящихся облаков по договоренности с известным астрономом, впоследствии членом-корреспондентом АН СССР Константином Доримедонтовичем Покровским (1868—1944).

Около 1902 г. Нина Михайловна начала работать в обсерватории Главной палаты мер и весов, которую в то время возглавлял Д.И.Менделеевым. Это сотрудничество продолжалось четыре года. Субботина, как и другие «барышни», которых Менделеев начал принимать на службу, занималась различными вычислениями. В этот период она также принимала активное участие в жизни научного астрономического сообщества, посещала заседания Русского астрономического общества, Русского физико-химического общества, Русского географического общества, различные публичные лекции и научные доклады. Большое влияние на формирование ее исследовательских интересов оказал Федор Александрович Бредихин (1831—1904). Так, 12 декабря 1930 г. она писала С.К.Костинскому: «Встреча с Ф.А. в РАО оставила на мне глубокий след, в том направлении — кометами и метеорными потоками — я интересуюсь и теперь» [6].

30 августа 1905 г. Нина Михайловна впервые наблюдала солнечное затмение в городке Бургос в составе миссии Бельгийского астрономического общества, членом которого она состояла. Отчет об этом событии был опубликован ею в газете «Русь», а также в «Известиях русского астрономического общества» [7]. Из этих отчетов видно не только то, что к этому времени Субботина была вполне профессиональным и скрупулезным астрономом-наблюдателем, но и что астрономия стала величайшей страстью ее жизни. Так, завершая абсолютно точный и строго выверенный научный отчет, Нина Михайловна пишет: «Неужели все это был

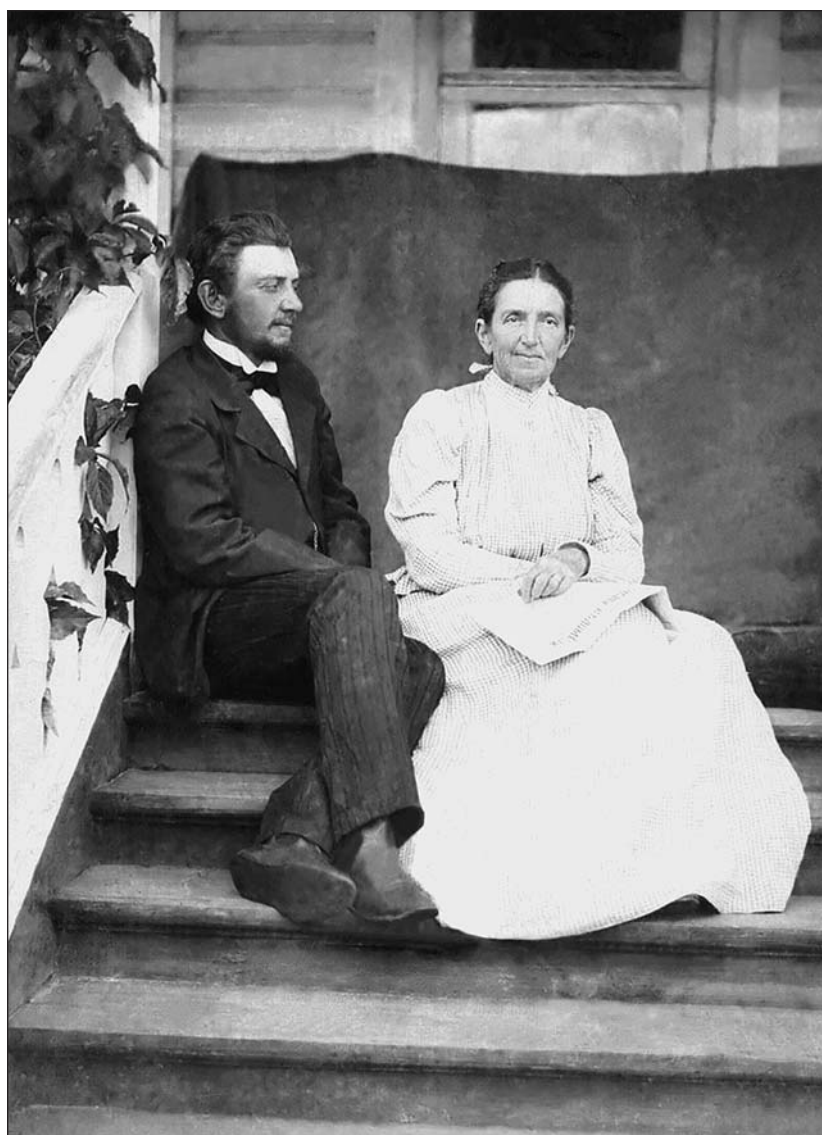
не сон? Неужели все это мы видели здесь, на Земле, — на нашей планете? Ничего обычного, знакомого! Фантастичная, сказочная картина!».

Однако несмотря на растущее признание ее деятельности со стороны научного сообщества Нина Михайловна постоянно чувствовала недостаток систематической подготовки, прежде всего математической. Чтобы восполнить этот пробел, в первой половине 1900-х годов она поступила на Высшие женские курсы (ВЖК), но, к сожалению, не могла полностью удовлетворить свою потребность в знаниях. Несмотря на то, что к началу 1900-х годов Бестужевские курсы в Петербурге, организованные в 1878 г., существовали уже более 30 лет, они все еще не могли сравниться с университетами, и не только потому, что их выпускницы не получали государственных дипломов. Разнообразие преподававшихся предметов здесь было меньше, чем в университетах. Например, в 1906 г. на ВЖК не читали лекций по теоретической астрономии, которые Нина Михайловна очень хотела послушать. Ей пришлось хлопотать через разных знакомых (в том числе Н.А.Морозова) о разрешении слушать этот курс в Петербургском университете. Хлопоты были длительными и отнимали драгоценное время от научных занятий.

Нам так и не удалось обнаружить сведений о том, окончила ли Субботина свое обучение официально или нет, но сотрудничество с ВЖК она продолжала, руководя практическими занятиями слушательниц по астрономии, организуя полевые экспедиции, одним словом, стараясь помочь получить образование молодым женщинам, желавшим этого. Нельзя сказать, что она всегда и везде встречала на этом пути поддержку своих коллег-мужчин, или, во всяком случае, зачастую эта поддержка оказывалась гораздо меньшей, чем хотелось бы. Например,

31 мая 1914 г. она писала своей старшей подруге и соседке по подмосковному имению, члену-корреспонденту Императорской Академии наук Ольге Александровне Федченко (1845—1921): «Я отказалась от участия в экспедиции Р.А.О. — они едут в Трапезунд, куда дам не берут, в Киев, куда ехать мне не хочется, чтобы не сидеть в пыльном городе, и в д[еревню] Молодежно Виленской губ[ернии], где, наверно. будет дождь, а от Крыма отказались. Т[ак] ч[то] я заявила на заседании, что еду с курсистками в Феодосию, и нам дали бесплатный провоз багажа и скидку на билеты. Вот и все. Обо всем остальном приходится заботиться самим и повсюду просить инструменты. Зато мы совсем свободны, и никто нас не будет называть бабами и относиться свысока. А труда мы не боимся!» [8].

Однако подобные трудности не могли отвлечь Нину Михайловну от намеченных целей. Около 1907 г. Субботина впервые приступила к изучению астрономии Древнего мира. Ее увлекало время, когда астрономия, по ее словам, «еще не отделялась от искусства и не была окружена такой громадой цифр, как теперь». 18 ноября 1907 г. она писала А.Н.Морозову: «Мне надо выяснить ее философию, цифры для меня всегда, всегда только орудие; их одних мало мне! Мы не затрагивали с Вами этих вопросов, а они мучают и волнуют меня...». И продолжала: «Я очень углубилась в эту задачу, и она увлекательна тем, что переносит в седую древность, к самому зарождению науки» [9]. Одним из результатов этой работы стала публикация в апреле 1910 г. знаменитой монографии Субботиной «История кометы Галлея» [10]. В предисловии к книге Нина Михайловна писала, объясняя свой интерес к данной теме: «Комета Галлея — явление беспримерное в истории астрономии: мы не знаем никакой другой периодической кометы



О.А. и Б.А.Федченко на крыльце своего дома в Ольгине.

с сравнительно коротким периодом обращения, около 77 лет, которая возвращалась бы с таким постоянством в течение уже двух тысяч лет, причем нам известны наблюдения с лишком 25 ее появлений, — доказательство, что она всегда бывала достаточно ярка, чтобы ее могли видеть простым глазом. Интерес к ней — кроме чисто астрономического — есть интерес подлинной страницы истории человечества: по сохранившимся записям мы можем проследить степень культурности отдельных народов, с их верованиями и суевериями, увидеть,

как пробуждалась мысль человека и зарождалось стремление к истине, как люди боролись и страдали за нее».

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных комете Галлея в 1909—1911 гг., которые были вызваны очередным появлением кометы, книга Субботиной привлекла внимание специалистов, причем не только астрономов, но и историков культуры, религии и др., а «Известия русского астрономического общества» в 1910 г. опубликовали одобрителный отзыв С.К.Костинского, не преминувшего заметить в за-



Титульный лист монографии «История кометы Галлея». 1910 г.

ключение, что «разбираемый труд г-жи Субботиной является *первой* астрономической научно-популярной книжкой более оригинального и общего характера, написанной на русском языке женщиной» [11]. С определением «научно-популярная» по отношению к данной монографии можно поспорить, но то, что это — первая на русском языке научная книга по астрономии (возможно, стоит уточнить, по истории астрономии), написанная женщиной, не подлежит сомнению. В начале 1913 г. Совет Русского астрономического общества заслушал отзыв Костинского (в котором подробно характеризовалась научная работа Нины Михайловны в целом и особенно ее книга «История кометы Галлея»), завершавшийся следующим выводом: «Я прихожу к заключению, что вообще деятельность Нины Михайловны Субботиной в области астрономии, и в частности ее последняя работа «История кометы Галлея», представляющая ценный вклад в нашу небогатую русскую астрономическую литературу, безусловно заслуживает поощре-

ния со стороны Русского астрономического общества и вполне достойна награждения» [12]. Совет Русского астрономического общества согласился с мнением Костинского и присудил девятнадцатую по счету премию имени Государя Императора Николая II Субботиной. Для Нины Михайловны это награждение оказалось неожиданным: она узнала о нем из газет. И хотя она с должной вежливостью поблагодарила своих коллег за оказанную честь, но особого восторга не испытала. В письме к Федченко от 5 июня 1913 г., Субботина высказала, как нам кажется, свое истинное мнение по этому поводу: «Странное чувство было у меня, когда я получала деньги премии: люди считают, что так следует награждать, а истинная награда ведь в собственной душе, в том удовлетворении, которое было, когда писалось и работалось».

Что же касается исследований по истории астрономических знаний Древнего мира, то Субботина не теряла к ним интереса и в дальнейшем. В 1943 г., в разгар военных действий, «Астрономический журнал» опубликовал подробную, пользующуюся до сегодняшнего дня вниманием специалистов ее статью «О форме коронарных оболочек Солнца в древности по рисункам некоторых египетских и ассиро-вавилонских затмений». По воспоминаниям Неуйминой, уже в последние годы жизни Нина Михайловна «работала в книгохранилище Эрмитажа. Изучая древние египетские рукописи, она разыскивала среди иероглифов изображения ущербного (затменного) Солнца — крылатого бога Ра — и пыталась отождествлять время их начертания с вычислительными датами солнечных затмений, которые в древности происходили в Египте».

Война и затем революция изменили жизнь Субботиной и ее семьи. Были конфискованы дома в Москве и Петербурге, принадлежавшие родителям, поте-

ряно имение Соболяки с расположенной на его территории обсерваторией. Нина Михайловна оказалась бездомной, без средств к существованию и, главное, без возможности заниматься любимым делом. Последнее угнетало ее больше всего. С некоторым недоумением она писала Костинскому 31 декабря 1917 г.: «Как странно, что тот самый Штенберг, к[ото]рый когда-то 17 лет назад приезжал ко мне устанавливать рефрактор, тот теперь комиссар большевиков, распоряжением которых реквизируют Соболяки!». Тем не менее она не унывала. Зимой 1917—1918 гг. мать и сестры Субботины провели в Нижнем Новгороде, где когда-то на Сормовских заводах много лет работал отец, а потом и братья Нины Михайловны. Несмотря на тяжелейшие бытовые условия она нашла возможность продолжить научные исследования. «Пусть большевики и захватили мою обсерваторию, но ведь я и в Нижнем Новгороде, где мы проводили зиму, из старых объектива и окуляра соорудила картонную трубу и отлично наблюдала звезды с балкона, и никакими декретами большевики не могли бы их конфисковать и запретить на них любоваться! — Разве бы только обезглавили астрономов, но и то: мысль бессмертна, а звезды будут, когда и Земли не останется, не только что власти большевиков!», — писала она Морозову 25 мая 1918 г. Однако Субботина отчаянно пыталась сохранить свою обсерваторию, надеялась превратить ее в официальное учреждение пролеткульта (или кого-нибудь другого). Но, к сожалению, эти планы осуществить не удалось. С 1919 по 1924 г. она работала, организовывала Сормовский астрономический кружок и обсерваторию местного пролеткульта, с присущей ей энергией. 19 августа 1920 г. Нина Михайловна писала о состоянии дел в адрес Всероссийского астрономического съезда: «Предполагаем, что наша обсерватория будет готова к



весне. Первый кредит в 300 000, отпущен, приступлено к работам, материал отпущен Сормовскими заводами, заключено условие с 2 подрядчиками. Проект составлен инж[енером] Михеевым, тов[арищем] председателем нашего Астр[ономического] кружка. Обсерватория будет стоять над самым высоким здесь домом — «Каменной школой», где сосредоточены почти все просветительные учреждения Сормова. По штату полагается мне 2 помощника, т[ак] ч[то] рассчитываю вести научную работу параллельно учебной. Деятельное участие в работе принимает наш Астр[ономический] кружок, недавно праздновавший первую годовщину своего существования».

Не очень понятно, по каким причинам прекратилась деятельность Сормовской обсерватории, но в 1924 г., «оставшись не у дел», Субботина вернулась теперь уже в Ленинград. Без какого-либо диплома ей очень нелегко было найти работу по специальности. Приходилось делить время между астрономическими наблюдениями и вычислениями и поисками заработка. В январе 1934 г. друзья и коллеги-астрономы, знавшие о ее тяжелом положении, хлопотали для нее пожизненную персональную пенсию Совнаркома в размере 200 рублей. Нина Михайловна была очень благодарна друзьям за хлопоты, главным образом потому, что пенсия позволяла ей вновь вернуться к полноценным научным исследованиям. 26 января 1934 г. она писала члену-корреспонденту АН СССР, старому коллеге и другу ее отца, Михаилу Андреевичу Шателену (1866—1957): «Итак, теперь можно будет спокойно продолжать заниматься астрономией, в [которой] столько новых блистательных достижений, не затрачивая силы на изнурительный физический житейский труд!».

Лето 1941 г. застало Субботину сначала в Сочи, где она снимала ультрафиолетовые

спектры Солнца, а потом по дороге в Симеиз, куда она направлялась для подготовки к наблюдению солнечного затмения. Как она писала впоследствии: «Война отменила эту экспедицию, а я не смогла возвратиться домой в Ленинград... и была эвакуирована в Ташауз, в Туркмению. Здесь продолжала работать научно в индивидуальном порядке и написала 3 работы». Тяжелый и непривычный климат Ташауза очень плохо сказался на здоровье Нины Михайловны. Она понимала, что из Туркмении необходимо уехать, но возвращаться было некуда: квартира в Ленинграде была разрушена во время бомбежки, а почти вся семья погибла. Субботиной удалось выхлопотать пропуск в Москву. Она оказалась в городе без жилья, без теплой одежды. 19 октября 1944 г. Нина Михайловна писала Морозову: «Пока — в Москве у меня пропуск до 20 октября, (а получила я его 14 сент[ября]); но весь месяц ушел на дорогу и хлопоты в институтах. Теперь меня не прописывают, и кончилась хлебная карточка. Багаж еще не пришел, и деньги от Туркм[енской] Ак[адемии] Наук задерживаются. Надо все это как-то одолеть... Мешает отсутствие теплой одежды и ушиб больной ноги. Приходится сидеть в комнате». Не без помощи друзей Нину Михайловну определили в Интернат №3 для инвалидов войны, располагавшийся около станции Переделькино, в 18 км от Москвы. Условия там по военным временам были сносные, а друзья помогли с теплой одеждой. Примерно в начале 1945 г. Нина Михайловна снова писала Морозову о своем житье-бытье: «Готовлю 3 работы для Академии. Устроила свой кабинет в пустом корп[усе], где будет ремонт. Сама все убрала и соорудила стол и стул из опрокинутой тумбочки. Только холодно, но зато никто не мешает: в нашей палате 11 чел[овек] и только кровати, табуретки и тумбочки».

Хоть это и звучит банально, но, похоже, никакие трудности не могли сломить эту женщину или убить ее стремление, совершенно бескорыстное, заниматься наукой. Уже летом 1945 г. она участвует в экспедиции по наблюдению солнечного затмения в Богородском, посещает юбилейное заседание Академии наук и «интересное собрание иностранных астрономов в ГАИШ». Летом 1946 г. она сообщает Морозову: «Жду трофейную астр[ономическую] трубу — и поеду с ней в Можайск, сняла комнату на июль — август». С тех пор она не прекращает наблюдения Солнца. Например, в феврале 1949 г. Нина Михайловна пишет Шателену: «Продолжаю наблюдать Солнце. На нем очень сильны бури, хотя максимум пятен был в 1947 г.».

После войны Субботина вернулась в Ленинград, получив комнату в общежитии ленинградского Дома ученых, где и жила до самой смерти 2 ноября 1961 года, не прекращая исследований, активно участвуя в научной жизни, сетуя только на недостаток времени. Так, в 1950 г. она жаловалась Шателену: «Не хватает у меня времени и сил поспевать, куда бы хотелось!». Неуймина с грустью писала: «Когда Нина Михайловна почувствовала, что больше не сможет наблюдать, она (с большой грустью) вернула Академии наук астрономическую трубу».

Конечно, краткий очерк не может вместить полное описание 84 лет жизни, каждое мгновение которой было заполнено либо научной работой, либо тяжелым трудом. Тем более жизни, вместившей в себя страшные и трагические события XX в. Но есть еще одно обстоятельство, о котором следует сказать. Мы не упоминали об этом ранее, поскольку не хотели, чтобы эта информация повлияла на восприятие читателем биографии Нины Михайловны, но нельзя не сказать о том, что Субботина с самого детства была тяжело больна. В возрасте

около девяти лет она перенесла, возможно, скарлатину и навсегда потеряла слух, а также способность говорить. Кроме того, обе ее ноги были парализованы,

и все последующие годы она передвигалась на костылях. Быть может, Нина Михайловна и не стала великим ученым, хотя ее вкладу в развитие астрономии

и истории науки может позавидовать любой исследователь, но ее жизнь, с ежедневной борьбой за каждый шаг, была самым настоящим подвигом. ■

## Литература

1. Орлова Н.Б. Максимилиан Максимилианович Мусселиус (1884—1938) и Дмитрий Иванович Еропкин (1908—1938) // На рубежах познания Вселенной. Историко-астрономические исследования. Вып.23. М., 1992. С.171—217.
2. Неуймина М.Н. Памяти Н.М.Субботиной // Астрономический календарь. Ежегодник. Переменная часть. 1964. М., 1963. Т.67. С.261—268.
3. Валькова О.А. Через тернии к звездам: Н.М.Субботина и «История кометы Галлея» // Вопросы истории естествознания и техники. 2010. №2. С.110—138.
4. Субботина Н.М. Письмо к Морозову Н.А. 3 июля 1935 г. // Архив РАН. Ф.543. Оп.4. Д.1811. Л.20—20об.
5. Луцкий В.К. История астрономических общественных организаций в СССР (1888—1941). М., 1982. С.58.
6. Субботина Н.М. Письмо к Костинскому С.К. 12 декабря 1930 г. // Петербургский филиал Архива РАН. Ф.708. Оп.2. Д.274. Л.118.
7. Субботина Н.М. О затмении 30 августа 1905 г. // Известия Русского астрономического общества. 1906/1907. 1907. Вып.ХII. С.14—22.
8. Субботина Н.М. Письмо к Федченко О.А. 31 мая 1914 г. // Петербургский филиал Архива РАН. Ф.808. Оп.2. Д.141. Л.75—75об.
9. Субботина Н.М. Письмо к Морозову Н.А. 18 ноября 1907 г. // Архив РАН. Ф.543. Оп.4. Д.1809. Л.39об.
10. Субботина Н.М. История кометы Галлея (С картой, рисунками и фотографическим снимком кометы). СПб., 1910.
11. Костинский С.К. Н.М.Субботина. История кометы Галлея // Известия Русского астрономического общества. 1910. Вып.ХVI. №4. С.165.
12. Костинский С.К. Отзыв о работах Нины Михайловны Субботиной // Известия Русского астрономического общества. 1913/14 гг. Вып.ХIX. СПб., 1914. С.138.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы  
**О.О.АСТАХОВА**  
**Л.П.БЕЛЯНОВА**  
**Е.Е.БУШУЕВА**  
**Г.В.КОРОТКЕВИЧ**  
**К.Л.СОРОКИНА**  
**Н.В.УЛЬЯНОВА**  
**Н.В.УСПЕНСКАЯ**  
**О.И.ШУТОВА**  
**С.В.ЧУДОВ**

Литературный редактор  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**С.В.ЧУДОВ**

Набор:  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры:  
**М.В.КУТКИНА**  
**Л.М.ФЕДОРОВА**

Графика, верстка:  
**А.В.АЛЕКСАНДРОВА**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

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

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

Подписано в печать 15.02.2011  
Формат 60×88<sup>1/8</sup>  
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 1131  
Набрано и сверстано в редакции

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