

# ПРИРОДА

4 07



**В НОМЕРЕ:****3 Сковрцов А.К.**

**У истоков систематики**  
К 300-летию Карла Линнея

**11 Горбунов Л.М.**

**Зачем нужны сверхмощные лазерные импульсы?**

Мощность современных ультракоротких СРА-лазерных импульсов намного превышает полную мощность всех электростанций мира. Такие импульсы могут быть использованы для ускорения электронов и ионов, для иницирования ядерных реакций, для генерации электромагнитного излучения в широкой области частот.

**21 Малярчук Б.А., Деренко М.В.**

**Структура русского генофонда**

По деталям строения митохондриальной ДНК и Y-хромосомы современные русские неоднородны, как, впрочем, и по антропологическим признакам. Эти различия конечно же связаны с этнической историей народа.

**29 Калейдоскоп**

Перелетных птиц становится все меньше (29). Новый тип вулканизма (29). Косметика Древней Греции (29). «Инвентаризация» острова (29). Красная книга пополняется (30). Обнаружен королевский фрегат Людовика XIV (30). Венецианские чумные захоронения (30).

**Апрельский факультатив****31 Иванова-Казас О.М.**

**Эволюция мифозоев**

**Левицкий М.М.**

**Химия: дорога к славе (37)**

**Расцветаева Р.К.**

**А кто самый большой?**

Минералогическая сказка (41)

**48 В ТРЕВОГЕ ЗА КОРАЛЛОВЫЕ РИФЫ**

**Кикингер Р., Островский А.Н.**

**Мальдивские рифы после катастрофы**

**Орлов А.М.**

**Экосистемы глубоководных кораллов и губок (52)**

**Заметки и наблюдения****56 Корсун О.В.**

**Жар-птичка**

**Научные сообщения****59 Бурлаков Ю.К.**

**Трансарктический дрейф «Тары»**

**62 Амирханов Х.А.**

**В Центральном Дагестане открыты памятники раннего плейстоцена**

Найденные кремневые орудия характеризуют эволюцию культуры палеолитического времени на протяжении нескольких сотен тысяч лет. Эти новые археологические данные показали, что первоначальное заселение Северного Кавказа происходило намного ранее, чем полагали прежде.

**68 Трубников Б.А.**

**Самоорганизация неустойчивых сред**

Точные решения

**74 Болотовский Б.М., Ратнер Б.С.**

**Владимир Иосифович Векслер – создатель синхрофазотрона**

К 100-летию со дня рождения

**85 Новости науки**

Самая яркая сверхновая. **Вибе Д.З.** (85). Автосистемы ночного видения (85). Фораминиферы могут дышать... нитратами. **Гиляров А.М.** (86). Применение нанотрубок в диагностике рака (87). Расшифрован геном медоносной пчелы. **Никонов Ю.М., Беньковская Г.В., Удалов М.Б.** (88).

Коротко (20, 47)

**Рецензии****89 Михайловский А.Б.**

**Физика плазмы глазами одного из ее основоположников**

**93 Новые книги****В конце номера****94 Борисов В.П.**

**Мрачное очарование «Гиперболоида...»**

## CONTENTS:

- 3 Skvortsov A.K.**  
**At the Beginnings of Taxonomy**  
 300h Anniversary of Karl Linney

- 11 Gorbunov L.M.**  
**What Superpower Laser Pulses Are Needed for?**

*The power of modern ultrashort CPA laser pulses much exceeds the total power of all existing power plants combined. Such pulses can be used for acceleration of electrons and ions, for laser-induced nuclear reactions, for generation of electromagnetic radiation in a wide range of frequencies.*

- 21 Malyarchuk B.A., Derenko M.V.**  
**Structure of Russian Gene Pool**

*Modern Russian people in respect to details of mitochondrial DNA and Y-chromosome structure are not uniform, just as well in respect to anthropological characters. These differences, of course, are related to ethnic history of the people.*

- 29 Kaleidoscope**  
 Numbers of Migrating Birds Decline (29). A New Type of Volcanism (29). Ancient Greek Cosmetic (29). «Inventory» of an Island (29). Red Book Is Supplemented (30). Royal Frigate of Luis XIV Is Found (30). Venetian Plaque Burial Places (30).

- 31 April Lectures**  
**Ivanova-Kasas O.M.**  
**Mythozoic Evolution**

- Levitsky M.M.**  
**Chemistry: Road to Fame (37)**

- Raszvetaeva R.K.**  
**And Who Is The Largest?**  
 A Mineralogical Fairytale (41)

- 48 ALARMED BY CORAL REEFS DESTINY**  
**Kikinger R., Ostrovsky A.N.**  
**Maldive Reefs after Catastrophe**

- Orlov A.M.**  
**Ecosystems of Deep-Sea Corals and Sponges (52)**

## Notes and Observations

- 56 Korsun O.V.**  
**Fire-Birdie**

## Scientific Communications

- 59 Burlakov Yu.K.**  
**Transatlantic Drift of «Tara»**

- 62 Amirkhanov H.A.**  
**Artifacts of Early Pleistocene Are Found in Central Dagestan**

*Unearthed flint tools characterize evolution of a Paleolithic culture in the course of several hundred thousand years. These new archeological data have shown that initial colonization of the North Caucasus took place much earlier than it was previously believed.*

- 68 Trubnikov B.A.**  
**Self-Organization of Instable Medium Exact Solutions**

- 74 Bolotovskiy B.M., Ratner B.S.**  
**Vladimir Iosifovich Veksler – Inventor of Synchrotron To Centenary of Scientist**

- 85 Scientific News**

The Brightest Supernova. **Wiebe D.Z.** (85). Car Systems for Night Vision (85). Foraminifera Can Breathe... by Nitrates. **Ghilyarov A.M.** (86). Application of Nanotubes in Cancer Diagnostics (87). Genome of Melliferous Bee Is Sequenced. **Nikonorov Y.M., Ben'kovskaya G.V., Udalov M.B.** (88). *In Brief (20, 47)*

## Book Reviews

- 89 Mikhailovsky A.B.**  
**Plasma Physics through Eyes of One of Its Founders**

- 93 New Books**

## In the End of Issue

- 94 Borisov V.P.**  
**Gloomy Fascination of «Hyperboloid...»**

# У истоков систематики

## К 300-летию Карла Линнея

А.К.Скворцов,  
доктор биологических наук  
Главный ботанический сад РАН  
Москва

В эпоху Возрождения усилившийся в Европе интерес к природе поначалу заключался в накоплении материалов и наблюдений. Но на рубеже XVII—XVIII вв. стала формироваться настоящая наука, стремившаяся как-то систематизировать все многообразие природных тел. И в этом зарождении науки систематики особенно велика роль К.Линнея. Его влияние на развитие науки о живом мире столь огромно, что литература, посвященная Линнею, в количественном отношении уступает только литературе, связанной с деятельностью Ч.Дарвина\*. Поэтому в предлагаемой статье, помимо самых кратких биографических данных о Линнее, попытаемся показать значение идей Линнея в свете современной науки.

Карл Линней родился 23 мая 1707 г. в семье сельского пастора в местечке Росхульт в Смоландии (южная часть Швеции), а детство провел в недалеко расположенном местечке Стенброхульт, куда его родители переехали через год, в 1708 г. Отец Карла содержал у своего дома довольно большой сад, где

\* Из русской литературы заслуживают упоминания особенно труды Е.Г.Боброва «Карл Линней, его жизнь и труды» (М.; Л., 1957), «Карл Линней» (Л., 1970) и «О работах Линнея и о Линнее, опубликованных в СССР» (Ботанич. журн. 1978. Т.63. №12. С.1793—1801), а также комментированное издание перевода «Философии ботаники» Линнея на русский язык, подготовленное И.Е.Амлинским (1989).

наряду с фруктами и овощами выращивалось много разных цветов; названия их всех отец знал и свои знания любил показывать гостям. И обстановка сада, и работа в нем, и познания отца оказали на маленького мальчика глубокое влияние. Отец выделил сыну небольшое место, где тот смог развести свой маленький садик. Восемилетний Карл уже знал множество растений, встречавшихся близ Стенброхультя и по дороге в городок Векшё, где находилась школа, в которую мальчик поступил.

Мать Карла мечтала о духовной карьере сына, но он твердо стремился к естественным наукам. Тогда все биологические дисциплины изучались на медицинских факультетах, и в 1727 г. Карл поступил на такой факультет в университете г.Лунда. Но через год перешел в Упсалу, где нашел лучшую обстановку для совершенствования своих знаний. Здесь он получил пост «демонстратора» ботанического сада. В Упсале Линней не только расширил свои познания в естественных науках, но и активно работал над развитием своих идей и подготовкой собственных трудов, которые потом будут изданы в Голландии.

В 1732 г. на средства, полученные от Упсальского Ученого общества, Линней в одиночку верхом на лошади отправился в пятимесячное путешествие по Лапландии — тогда еще почти неведомой стране. Эта экспедиция сыграла большую роль в его



Линней в молодые годы в лапландской одежде. В руках у Линнея на этом портрете, как и на следующем, маленькое растение северных лесов, названное в его честь — *Linnaea borealis*. Из: Acta Horti Bergiani. Stockholm, 1897. Band III. Afdelning. I. 1903.

развитии; ботанические результаты были изданы в 1737 г. как «Лапландская флора», а прочие обширные наблюдения — только посмертно.

Хотя Упсала и была очагом шведской науки, все же центры естественно-исторической мысли и активности тогда находились в других странах. Швеция переживала не лучшие времена после долголетней Северной войны (в 1709 г. была битва под Полтавой, а Ништадский мир за-





Часть ботанического сада Линнея в Упсале. 1973 г. На заднем плане — сооружение для зимнего содержания теплолюбивых растений (предшественник современных оранжерей).

Здесь и далее фото автора

ключен только в 1721 г.). А Голландию XVIII в. отличал хозяйственный, торговый и интеллектуальный расцвет. В Амстердаме и Лейдене существовали большие ботанические сады; оживленное торговое сообщение с заморскими странами ежегодно доставляло тысячи экзотических живых растений или семян,

среди которых было и немало новых, дотоле неизвестных. Туда и решил Линней поехать.

В конце 1734 г. он обручился с дочерью преуспевавшего врача Сарой-Лизой с тем условием, что он вернется из заграничного путешествия через три года с ученой степенью. Уехал Карл в начале 1735 г. В первый же ме-

сяц своего пребывания в Голландии он защитил в университете г.Хардервейк диссертацию на степень доктора медицины.

Вообще 1735 г. был очень удачным для Линнея: он издал свою «Систему природы», что сразу создало ему репутацию среди голландских ботаников. Двое из них, Х.Бургав и Я.В.Гроновиус, рекомендовали его богатому банкиру Клиффорду, содержавшему большой сад с многими экзотическими растениями. В результате Линней получил хорошее материальное обеспечение и смог издать множество своих произведений. В том же году Линней съездил в Англию, где познакомился с несколькими видными натуралистами, такими как Х.Слоан, Ф.Миллер и И.Я.Диллениус. Еще через три года он посетил Париж, где в Королевском саду его дружески принимало семейство известных ботаников Жюсье.

В 1738 г., вернувшись в Швецию, Линней женился на Сарелизе. В 1741 г. получил профессорство в Упсале, и далее там почти безвыездно протекала вся его дальнейшая жизнь и деятельность. Линней как прекрасный лектор умел заражать слушателей интересом к познанию природы и особенно растений. Вдохновленные им молодые люди из Швеции выезжали в далекие страны за сбором гербариев, которые они по возвращении передавали Линнею или же сами их обрабатывали и публиковали. С другой стороны, Линней сумел организовать широкий приток молодых натуралистов из Швеции и из других стран к нему в Упсалу; многие защищали диссертации, темы которых и основное содержание обычно давал сам Линней. Собрание этих диссертаций Линней издал под общим названием «*Acta societatis academicae*» (vols.1—7, 1749—1769). Из российских деятелей наиболее известны связи Линнея с исследователем флоры Сибири И.Г.Гмелином, братьями Демидовыми, директором Аптекарского сада в Москве Т.Гербе-



Дом Линнея в Хаммарбю. 1973 г.

**Труды, изданные в Голландии**

| год  | издание              |
|------|----------------------|
| 1735 | Systema naturae      |
| 1736 | Bibliotheca botanica |
| 1736 | Fundamenta botanica  |
| 1737 | Critica botanica     |
| 1737 | Genera plantarum     |
| 1737 | Flora lapponica      |
| 1737 | Hortus cliffortianus |
| 1738 | Classes plantarum    |

ром. В 1754 г. Линней был избран членом Петербургской Академии наук.

В 1762 г. Линней получил дворянство; в том же году купил себе деревенскую резиденцию — дом в Хаммарбю близ Упсалы. С 1763 г. его здоровье стало ухудшаться, и он оставил лекционную деятельность. Умер Линней 10 января 1788 г.; похоронили его в Упсале в большом старинном соборе. Сейчас в полу собора можно видеть большую мемориальную металлическую плиту с его именем.

Многообразная и весьма продуктивная деятельность Линнея нашла отражение в огромном количестве публикаций (его собственных или так или иначе с ним связанных). Кроме того, уже после смерти ученого выходили в свет (вплоть до начала XX в.!) многочисленные сохранившиеся его рукописные материалы\*. В этом океане трудов Линнея, при всей его цельности, все же различимы три основных раздела: описательная естественная история, или научная инвентаризация природных тел; теоретические основы этой инвентаризации; наблюдения и эксперименты над различными сторонами жизни растений, гибридизация.

### Описательная естественная история

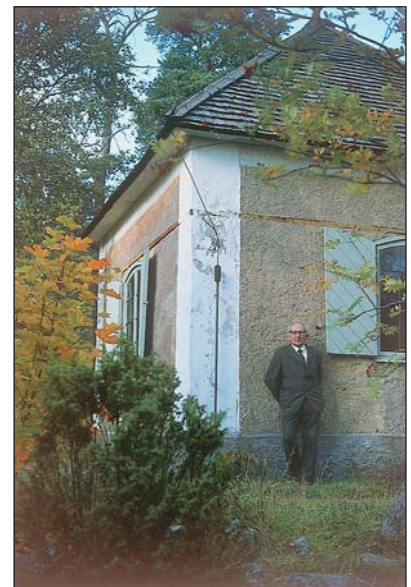
Она поглотила наибольшую долю труда и времени Линнея. Среди ее объектов, т.е. природ-

\* Наиболее полная линнеевская библиография — Soulsby, 1933.

ных тел, тогда различали три «царства»: животных (живут, чувствуют и растут), растений (живут и растут, но не чувствуют) и минералов (не живут и не чувствуют, но могут расти). Линней поставил себе целью охватить все три «царства», известные в те времена в мировом масштабе. Опубликованная в 1735 г. Systema Naturae представляла как бы программу всего труда, но без конкретного описательного материала, который постепенно появлялся в последующих изданиях «Системы». Второе издание вышло в Стокгольме в 1740 г., последнее, 12-е, издание, подготовленное самим Линнеем, в 1766—1768 гг. в четырех томах общим объемом более 2500 страниц. Первый том 10-го издания (1758) ныне принят за начальный пункт отсчета приоритетов в названиях животных.

В своем втором важнейшем произведении «Роды растений» («Genera plantarum», 1737) Линней признавал, что роды в основном были определены до него. Тем не менее он дал им свои собственные характеристики, которые в этом труде касались только генеративных органов, в соответствии с «половой системой» Линнея. При жизни Линнея «Genera plantarum» выдержали шесть изданий. Пятое издание (1754) ныне принято за точку отсчета приоритетов родовых названий растений.

И, наконец, третий важнейший труд Линнея — «Виды растений» («Species plantarum», 1753), — как и ботаническая часть «Системы», претендовал на охват всех известных тогда растений. Этот труд содержит огромную синонимичку из работ предшествовавших авторов (теперь именуемых «долиннеевскими») и окончательно закрепил уже ранее провозглашенное Линнеем основополагающее значение вида в систематике. «Species plantarum» теперь принят за начало отсчета приоритетов в названиях видов растений.



Домик коллекций в Хаммарбю. При жизни Линнея в нем находились все его коллекции. После смерти его вдова продала основную часть коллекций в Англию, где они и сейчас находятся во владении Линнеевского общества.

Среди основных трудов Линней опубликовал еще целый ряд местных флор, начиная с уже упомянутой «Flora lapponica», как по своим материалам, так и по доставленным ему другими лицами, а также несколько зоологических трудов (даже медицинских и минералогических). Во всех случаях он стремился применить свою пятичленную иерархию подразделений.

### Теоретические проблемы

Задумывая изложить естественную историю всех трех «царств», Линней, конечно, должен был продумать и порядок изложения, и теоретические основы самого порядка. Мир камней интересовал его гораздо меньше, чем мир живых существ, причем больше всего Линнея привлекали растения. К тому же у животных основные естественные группы уже просматривались довольно хоро-





Памятник Линнею в Стокгольме. Фигуры у основания пьедестала олицетворяют четыре науки, которым себя посвятил Линней: медицину, зоологию, ботанику и минералогию. 1973 г.

шо, но про растения этого нельзя было сказать. Поэтому в разработке теоретических позиций Линней проявил себя главным образом как ботаник.

С 1735 г. «Система природы» Линнея ввела в естественные науки само понятие «система», которое ранее использовалось только в абстрактных науках — логике, теологии, метафизике [1]. Через год появились «Основания ботаники» («*Fundamenta botanicae*»), которые — как сказано на титульном листе — «излагают теорию ботаники с помощью кратких афоризмов». Продолжили тему «*Critica botanica*» (1737) и «*Classes plantarum*» (1738). Далее те или иные общие соображения высказывались и в других трудах, а в 1751 г. вышла «*Philosophia botanica*», которая суммировала теоретические представления Линнея (в то же время она служила и учебным пособием для начинающих ботаников).

Основным стержнем ботаники Линней считал систематику. «Основание ботаники двоякое: расположение и наимено-

вание» (*Philos. Bot.* §154). Метод расположения, в свою очередь, может быть двояким — либо систематическим, либо синоптическим (синопсис, по Линнею, — это любое перечисление, по алфавиту или с произвольными подразделениями). Система же — это иерархия включающих друг друга (энкаптических) подразделений, оптимально пяти. «Система — это ариаднина нить, без которой хаос» (*Philos. Bot.* §156).

Однако и система — системе рознь. По мнению Линнея, правильная (*orthodox*) система должна основываться на хорошо видимых, устойчивых и постоянных признаках генеративных органов, а не на каких-либо иных характеристиках. Главное в растении — цветок, сущность которого — органы пола, пыльники и рыльца (*Philos. Bot.* §88). Поэтому Линней разработал свою систему на основе «числа, соразмерности и положения пыльников и пестиков» (*Philos. Bot.* §68).

Система получилась хотя и вполне «ортодоксальной», т.е.

основанной на самых важных признаках, но явно искусственной. Между тем, по убеждению Линнея, расположенные «внизу» системы виды и роды — естественные, эмпирически обнаруживаемые в природе, объективно доказуемые образования (хотя он и признавал, что нередко возникают трудности в выяснении их очертаний). Соответственно он и характеризовал свою систему: «вид и род — всегда творения природы, разновидность — чаще всего создание культуры, а классы и порядки — создания и природы, и искусства» (*Philos. Bot.* §162). Система Линнея была очень удобной и легкой для пользования, и поэтому во второй половине XVIII в. стала почти общепризнанной.

Но сам Линней высшей целью ботаники считал создание системы, естественной во всех ее разделах. Уже в 1738 г. в «*Classes plantarum*» он предложил некоторое количество естественных порядков (*ordines naturales*). В каждом из них перечисляется несколько родов, но нет никакого описания или диагноза; в первом варианте эти естественные порядки не имели даже названий. В 1751 г. Линней дал более совершенный вариант — 67 порядков, из них четыре для бесцветковых растений. У всех есть названия, но опять же не указаны критерии, на основании которых эти порядки выделяются. Более 100 родов перечисляются как «неясные», которые не удалось отнести к каким-либо «естественным» группам. Очевидно, все построение естественной системы должно проходить в духе афоризма, высказанного в отношении родов, которые Линней принимал за естественные образования: «Признаки, важные для установления одного рода, для другого могут оказаться несущественными. Знай: не признак определяет род, а род — признак» (*Philos. Bot.* §169).

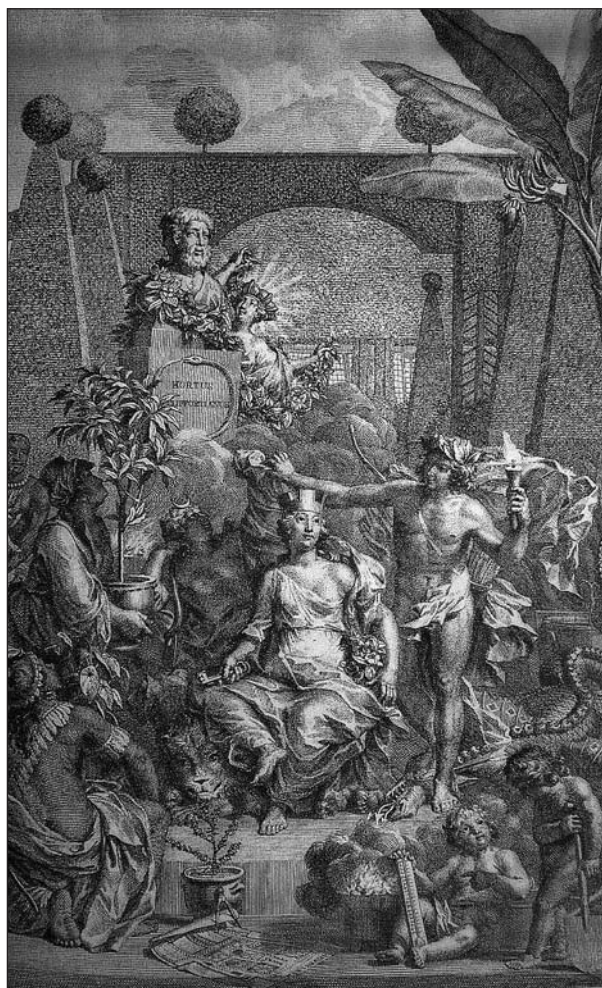
Несмотря на неуловимость и неопределимость «естественности», дальнейшее развитие

CAROLI LINNÆI SVEDI  
 Doctoris Medicinæ  
**FUNDAMENTA  
 BOTANICA**  
 quæ  
 Majorum Operum Prodrumi instar  
 THEORIAM  
 SCIENTIÆ BOTANICES  
 per  
 breves Aphorismos  
 tradunt.



AMSTELÆDAMI,  
 Apud SALOMONEM SCHOUTEN.  
 1736.

Титульный лист сочинения Линнея  
 «Fundamenta botanica».



Заглавная страница сочинения Линнея  
 «Hortus Cliffortianus».

систематики стремилось именно к ней, а искусственная система Линнея уже к середине XIX в. стала пережитком. Поиск естественности системы в XIX в. привел к идее эволюции, потому традиционная, «линнеевская» систематика бесконфликтно и скорее, чем многие другие отрасли биологии, перешла на рельсы эволюционизма.

Линней не придавал понятию «система» смысла классификации, как это стало нередким в XIX и XX вв. В системе виды размещаются, а не сортируются. Как замечал Линней, только пользующиеся уже готовой системой идут в ней сверху вниз, от класса к виду, а строитель системы («inventor») идет

в обратном направлении — снизу (от вида) кверху (к классу); в случае же классификации движение всегда сверху вниз. Диалектичность системы несвойственна классификации. Легко видеть, что здесь взгляды Линнея более соответствуют современному подходу, чем представления многих, в том числе и совсем недавних авторов.

Пожалуй, важная заслуга Линнея — утверждение вида в качестве основного «строительного кирпича» любой системы и всей систематики. Он и сам это отчетливо понимал (*Critica Bot.* P.146). До него основой систематики был род, а термин «вид» (*species*) употреблялся, как и ряд других терминов (*varietas, proles,*

*forma, lusus. etc.*), весьма неопределенно для обозначения любых вариаций рода. Линней гениально понял, что между родом и индивидом существует еще некое природное объединение сходных между собой особей. Иными словами, предугадал представления, развившиеся уже в XX в., о существовании надорганизменного уровня генетической интеграции живой материи.

Согласно Линнею, виды устойчивы и практически постоянны в своих признаках, поскольку всегда рождают себе подобных (*Philos. Bot.* §162). Как самозарождение живых существ, так и перерождение видов (в частности, перерождение культурных растений в сорня-



ки) Линней категорически отрицал. И это в середине XVIII века! А в середине XX в. дремуче-архаичные представления о «зарождении» и «перерождении» видов вновь отпрыгнулись в обличье лысенковщины.

Линней провел четкую грань между видами и разновидностями. Если вид, по Линнею, есть творение Бога, то разновидности в основном — произведения человеческой культуры. Культура порождает разновидности, она же служит и проверкой их устойчивости. «Разновидностей может быть столько, сколько различающихся между собой особей может быть в потомстве вида» (Philos. Bot. §158). Мелкие разновидности вообще не заслуживают внимания ботаника.

И здесь Линней тоже оказался провидцем. В современной систематике роль разновидностей резко упала. Зоологи вообще не признают ее за систематическую единицу, и ботаники неоднократно высказывали подобные предложения [2—5]. Надо полагать, что они вскоре будут приняты, тем более что культурные разновидности и сорта (культивары) теперь рассматриваются скорее как хозяйственная, а не биологическая категория.

Еще во времена Линнея существовало мнение, что виды — это чистые условности, а реально существуют только разные особи. Это мнение приобрело почти всеобщее признание в эпоху раннего эволюционизма в XIX веке, а в некоторых научных школах существует и поныне. Оно было ясно высказано Ч. Дарвином: «Термин “вид” я считаю совершенно произвольным, придуманным ради удобства для обозначения группы особей, близкой между собою схожих, и существенно не отличающимся от термина “разновидность”, обозначающего формы, менее резко различающиеся» [6]. В ходу был афоризм «разновидность — это зачинающийся вид».

Современная генетико-экологическая модель вида перенесла эволюционную роль от разновидности к изолированной популяции. Как ни парадоксально это может звучать, но линнеевское понимание вида и отношение к разновидности оказались ближе к современности, чем представления эпохи Дарвина. Такова диалектика развития науки!

По существовавшей тогда традиции Линней считал, что название вида (как бы его ни трактовать) должно состоять из двух частей — названия рода и «дифференции» — максимально краткой характеристики признаков, отличающих вид от других представителей рода. И он приложил огромный труд к составлению таких «дифференций» в «Species plantarum». Но он не мог не заметить, что его представление о виде как об отдельном самостоятельном природном объекте явно не соответствует названию, представляющему вид как часть рода. Кроме того, «дифференции» редко могли состоять из одного слова, чаще в них было 3-4-5, иногда даже 12 слов; при открытии новых видов того же рода дифференции могли потребовать корректировки.

И вот в небольшом сочинении о кормовых растениях Швеции («Pan Suecicus», 1749) Линней употребил вместо непостоянной многословной «дифференции» обиходные названия (nomina trivialia) — однословный видовой эпитет любого происхождения. В «Species Plantarum» все виды он снабдил такими эпитетами. Вместе с именем рода получались бинарные видовые названия. Эпитет мог отражать какое-либо свойство вида, но мог быть и совершенно произвольным. Главное — он легко запоминался и имел характер личного имени. Nomina trivialia были очень быстро подхвачены, к концу столетия «дифференции» почти совсем вышли из употребления, хотя сам Линней до конца жизни

именно их считал «законным» названием.

## Жизнь растений. Гибридизация

Жизнь растений интересовала Линнея с раннего детства до конца дней. Но эта сторона жизни и деятельности Линнея теперь почти забыта. Отчасти потому, что мысли, наблюдения и эксперименты, посвященные разным частным вопросам, отражены в небольших сочинениях, которые сегодня трудно найти даже в больших библиотеках. Кроме того, трактовки Линнея отражают уровень науки XVIII в. и теперь не вызывают особого интереса, в отличие от таких трудов, как «Genera Plantarum» или «Species Plantarum», к которым приходится обращаться и теперь.

Круг интересов и наблюдений Линнея был безграничен. Его внимание привлекали география растений, характер их местообитаний, значение влаги, почвенных условий, потребность в свете или тени, движения растений, открытие и закрытие цветков в разное время суток, метаморфозы органов растений, галлы растений, опыление цветков ветром и насекомыми, разбрасывание и разнос семян ветром, водой и животными, содержание в растениях различных веществ и т.д.

Но больше всего Линнея интересовали вопросы пола и оплодотворения у растений. Он многократно, соблюдая пространственную изоляцию, обрезал у цветков пыльники или рыльца; такая же операция до начала цветения предотвращала завязывание, а сделанная позже — не мешала. Ему впервые удалось получить искусственный гибрид между видами козлобородников: *Tragopogon pratensis* × *T. porrifolius*. Внешность у козлобородников довольно однообразна, но у первого вида цветки желтые, а у второго — от сиреневого до густо фиолетово-

го цвета. Когда гибриды зацвели, цветки получились в центре корзинки желтые, а по периферии — лиловые.

Рукопись с изложением своих работ и семена гибридных растений Линней послал в Петербург на конкурс, объявленный Российской Академией наук — представить новые достоверные доказательства существования пола у растений. Работу Линнея напечатали и в 1760 г. отметили премией. А в 1761 г. несколько растений, выросших из семян гибрида (т.е. F<sub>2</sub>), зацвели и показали картину менделевского расщепления признаков, т.е. за 100 лет до Менделя! Но оно было истолковано как несоблюдение чистоты опыта [7]. Естественные межвидовые гибриды козлобородников (семейство Сложноцветных, Asteraceae) позже неоднократно наблюдались в Европе. Несколько видов было занесено в Сев. Америку, и здесь межвидовая гибридизация не только повторялась, но и возникли спонтанные фертильные амфидиплоиды, как бы новые виды [7].

Получение искусственного межвидового гибрида Линнеем было первым достоверным случаем такой гибридизации. Имея в виду также и другие работы Линнея, известный ботаник-экспериментатор Энс Клаусен признал за Линнеем заслугу введения в ботанику экспериментального метода [8].

Во второй половине своей жизни Линней склонялся к предположению, что, возможно, вначале были созданы лишь первые представители родов, а дальше они сформировали все ныне существующие виды, возможно, путем гибридизации.

\* \* \*

Итак, что же нам оставил Линней? Кратко резюмируя, можно сказать, что он проделал огромную работу по научной инвентаризации биоразнообразия на уровне XVIII в. и ввел в естественные науки понятие «система».

Провел принципиальное разграничение между естественными объединениями живых существ и искусственными; естественную систему рассматривал как цель, к которой наука должна стремиться, а искусственную — как средство на пути к этой цели.

Принял вид в качестве основной систематической единицы любой системы, считая его объективным, эмпирически обнаруживаемым природным образованием, которое существует длительно, устойчиво и не перерождается в другие виды; нет и самопроизвольного зарождения живых существ.

Полагал, что разновидности — не пути к новым видам, а обратимые внутривидовые варианты. Предложил для видов бинарную номенклатуру. Впервые проделал успешную межвидовую гибридизацию растений; высказал мысли о возможности образования новых видов через гибридизацию.

Конечно, Линней как дитя своего XVIII в., вероятно, был знаком и с аристотелевской, и с томистской философией. Но сейчас для его коллег-биологов должно быть видно, что он не столько руководствовался философией, сколь создавал ее сам. Как и многие другие естествоиспытатели, особенно в XIX и XX вв., в своей индуктивной философии натуралиста он тяготел к диалектике. То же можно сказать и про многих современных ученых, хотя лишь немногие из них это признают — отчасти из опасения прослыть «красным». Но еще больше натуралиста-эмпирика отпугивают претенциозно-вычурные названия «законов» диалектики, доставшиеся нам от Г.Ф.Гегеля (лучше бы было говорить не о законах, а о проявлениях или вариантах).

Весьма показателен новейший пример очень известного эволюциониста Э.Майра, который только на склоне лет обнаружил, что его философия — диалектический материализм [9].



Линней в конце жизни. Портрет в Шведской Академии наук.

(Так один мольеровский герой неожиданно для себя узнал, что он говорит прозой.)

Как мне представляется, именно потому и направлена в адрес Линнея критика авторов [10–12], которые такой философии явно не приемлют. Линней упрекают в догматизме, схоластицизме, априоризме, в платоновско-томистском «эссенциализме» (последний термин, весьма неудачный своей двусмысленностью, был предложен известным философом-позитивистом К.Поппером для обозначения сути томистского «реализма» средневековых мыслителей).

В частности, А.Кэйн уверял, что основой систематики у Линнея служит не вид, а род; вид же будто бы получается путем «логического деления» рода. Разве можно согласовать это утверждение с тем, что Линней представляет читателю вид вполне независимо от рода, как первую и основную категорию (Philos. Bot. §157), а род представляется потом (Philos. Bot. §159) как некая связка видов? И как «логическое деление» можно согласовать с утверждением Линнея, что виды были созданы «в начале вещей»? Логическое деление действительно имеет место при определении вида по ключу. Но тут и род оказывается как бы

«продуктом деления» вышестоящей категории. Линней ясно указал, что мысль ученого-создателя («inventoris») системы движется от частного к общему, от вида кверху. Просто Кэйн, видимо, не отличает процесс построения системы от ее использования.

Критики Линнея не видят принципиального различия

между естественной и искусственной системами; по их мнению, оно только количественное, т.е. много или мало признаков использовано для ее построения. А утверждение Линнея, что суть цветка состоит в пыльнике и рыльце, его оппоненты считают проявлением эссенциализма. Думается, подобное свидетельствует не в пользу самих

критиков. Разве мог бы схоласт и догматик высказать те тезисы, которые оставил нам Линней: «Не признаем никакого авторитета кроме как исследование растений своими глазами... (Genera Pl., Ratio operis. §11). В естественных науках основы истины должны быть подтверждены наблюдениями» (Philos. Bot. post §365).■

## Упомянутые в статье труды Линнея

Systema naturae. Lugduni Batavorum. Leiden, 1735.

Id. Ed.2. Stockholmiae, 1740.

Id. Ed.10. Stockholmiae, 1758—1759.

Id. Ed.12. Stockholmiae, 1766—1768.

Bibliotheca botanica. Amstelodami, 1736.

Fundamenta botanica. Amstelodami, 1736.

Critica botanica. Lugduni Batav., 1737.

Genera plantarum. Lugduni Batav., 1737. Id. Ed.5. Stockholmiae, 1754.

Flora Lapponica. Amstelodami, 1737.

Hortus Cliffortianus. Amstelodami, 1737.

Classes plantarum. Lugduni Batav., 1738.

Pan Suecicus. Upsala, 1749.

Amoenitates academicae. V.1—7. Stockholmiae; Lugduni Batav., 1749—1769.

Philosophia botanica. Stockholmiae; Amstelodami, 1751.

Species plantarum. Stockholmiae, 1753.

Disquisitionis de quaestione ab Acad. Scient. Petrop. in annum 1759 pro praemio proposita: Sexum plantarum argumentis et experimentis .... Comment. Novi Acad. Scient. Imper. Petrop. 1760. V.5. P.1—31.

Философия ботаники. Перевод на рус. язык. Издание подготовил И.Е.Амлинский. М., 1989.

## Литература

1. Stein A. von der // Studien zur Wissenschafts-theorie. 1968. Bd.2. S.1—14.
2. Комаров В.Л. Формы изменчивости стрелолита и дикие расы обыкновенной малины // Тр. СПб. об-ва ест-теств. 1902. Т.32. Вып.1. Протоколы №7—8.
3. Комаров В.Л. Предисловие. Флора СССР. Т.1. М.; Л., 1934. С.1—12.
4. Скворцов А.К. Основные этапы развития представлений о виде // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1967. Т.72. №5. С.11—27.
5. Скворцов А.К. Сущность таксона и проблемы внутривидовой систематики растений // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1971. Т.86. №5. С.72—81; №6. С.74—84.
6. Дарвин Ч. Происхождение видов (пер. с 6-го англ. изд. 1872). М.; Л., 1937.
7. Ownbey M. // Amer. J. Bot. 1950. V.37. P.487—499.
8. Clausen J. The function and evolution of ecotypes, ecospecies and other natural entities // Systematics of Today. Uppsala; Wiesbaden, 1958.
9. Mayr E. The roots of the dialectical materialism // На переломе. Советская биология 20—30-х годов. СПб., 1997. Рус. перевод: Природа. 2004. №9. С.73—76.
10. Cain A.J. Logic and memory in Linnaeus' system of taxonomy // Proc. Linn. Soc. 1958. V.169. №1—2. P.144—163.
11. Stafleu A. Linnaeus und the Linneans. Utrecht, 1971.
12. Heywood V. Linnaeus — the conflict between science and scholastics // Contemporary perspectives on Linnaeus / Ed. G.Weinstock. N.Y.; L., 1985. P.1—15.



# Зачем нужны сверхмощные лазерные импульсы?

Л.М.Горбунов

В последние годы созданы лазеры, генерирующие сверхмощные ультракороткие световые импульсы. Во многих странах широким фронтом ведутся исследования распространения таких импульсов и их взаимодействия с веществом. Обнаружены новые физические явления, анализируются возможности использования этих импульсов в разнообразных областях, начиная от ядерной физики и астрофизики и кончая медициной.

В предлагаемой статье читатель сможет познакомиться с новой областью физики, у которой еще нет устоявшегося названия. В публикациях по этой тематике используются различные термины: «сверхсильные лазерные поля», «ультрамощные лазерные импульсы», «оптика в релятивистском режиме» и др. Начнем с того, что постараемся разобраться в смысле данных слов.

## Что такое «сверхсильные электромагнитные поля»

Лазерные импульсы, о которых ниже будет идти речь, имеют длительность менее 1 пикосекунды (т.е. менее  $10^{-12}$  с). Их длина в пространстве составляет менее 300 мкм, что меньше трети миллиметра. Поэтому для характеристики таких импульсов часто используют термин «ультракороткие импульсы». Длина вол-



*Леонид Михайлович Горбунов, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Физического института им.П.Н.Лебедева РАН. Основные научные работы посвящены нелинейной электродинамике плазмы. Лауреат Государственной премии СССР (1987).*

ны излучения составляет обычно около 1 мкм, и оно относится к инфракрасному диапазону. На длине импульса укладываются десятки — сотни длин волн.

Энергия, которую несет такой импульс, может достигать до сотен джоулей, а мощность — до  $10^{15}$  Вт. Эту величину принято называть «петаватт». Она намного превышает суммарную мощность всех электростанций мира. Поэтому такие импульсы часто называют сверхмощными.

Если такой импульс сфокусировать на площадку с радиусом 10 мкм, то интенсивность излучения (мощность, деленная на площадь площадки) достигнет  $3 \cdot 10^{20}$  Вт/см<sup>2</sup>, а напряженность электрического поля при этом будет порядка  $10^{12}$  В/см.

Чтобы понять, насколько велико это поле, сравним его с теми полями, которые существуют внутри атомов. Простейший атом — атом водорода; в нем единственный электрон дви-

жется около ядра, в данном случае просто протона. Напряженность электрического поля, благодаря которому эти две частицы удерживаются друг около друга, образуя атом, составляет около  $5 \cdot 10^9$  В/см. Для сравнения: пробой такого хорошего изолятора, как слюда, происходит при  $2 \cdot 10^6$  В/см.

Таким образом, даже внутриатомные поля, традиционно считавшиеся большими по сравнению с теми, что встречаются в повседневной жизни, оказываются малыми по сравнению с полями, которые возникают при фокусировке ультракоротких сверхмощных лазерных импульсов. Именно по отношению к таким полям принято использовать термин «сверхсильные».

Устоявшееся в течение долгого времени представление о том, что внешние поля слабо влияют на атомные системы и могут учитываться как малое возмущение, теряет смысл. Пе-

ред наукой возникла реальная проблема развития новых представлений о воздействии таких сверхсильных электромагнитных полей на вещество.

Еще один термин, которым пользуются применительно к таким полям, связан с движением в них одного электрона. Обычно принято считать, что в поле линейно поляризованной электромагнитной волны электрон совершает колебательное движение со скоростью, малой по сравнению со скоростью света. По мере того как амплитуда волны увеличивается, возрастает и скорость осцилляций электрона. Для волны с длиной 1 мкм, характерной для таких лазеров, скорость осцилляций электрона становится близкой к скорости света при напряженности поля  $\sim 10^{11}$  В/см, что соответствует интенсивности  $\sim 2 \cdot 10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup>. Поэтому распространение света с более высокими интенсивностями требует при рассмотрении движения электронов учета релятивистских эффектов — так родился термин «оптика в релятивистском режиме» (именно

под таким названием недавно был опубликован большой обзор [1]).

### CPA-лазеры

Генерация таких мощных коротких световых импульсов стала возможной после создания в 1985 г. американскими учеными лазеров специального типа [2], получивших теперь название CPA-лазеров. Эти буквы — аббревиатура от английских слов «chirp pulse amplification», которые можно перевести как «усиление импульса с плавно изменяющейся частотой». В данных словах заложен принцип работы лазеров.

CPA-лазер состоит из четырех блоков: генератор, растяжитель, усилитель и компрессор. Схематически это показано на рис.1.

*Генератор* — это обычный импульсный лазер, который создает ультракороткие импульсы малой мощности. Обычно длительность таких импульсов составляет десятки—сотни фемто-

секунд. Что касается энергии, которая содержится в импульсе, то она может быть относительно малой, на уровне  $10^{-6}$  Дж.

Из генератора такой короткий и слабый импульс поступает в устройство, которое называется «растяжитель», где он растягивается в тысячи раз. Здесь как раз и закладывается та ключевая особенность лазерного импульса, на которой основана работа CPA-лазеров. Импульс растягивается таким образом, чтобы частота излучения плавно изменялась по его длине. Наглядно это можно представить как гармошку, у которой расстояние между выступами и впадинами изменяется плавно по длине. Импульс с таким распределением частоты излучения называется *чирпированным* от английского слова «chirp», которое означает чириканье или щебетание. Изменение длины волны излучения от начала импульса к его концу обычно не столь уж велико и составляет доли процента.

Такой растянутый импульс поступает в *усилитель* — актив-

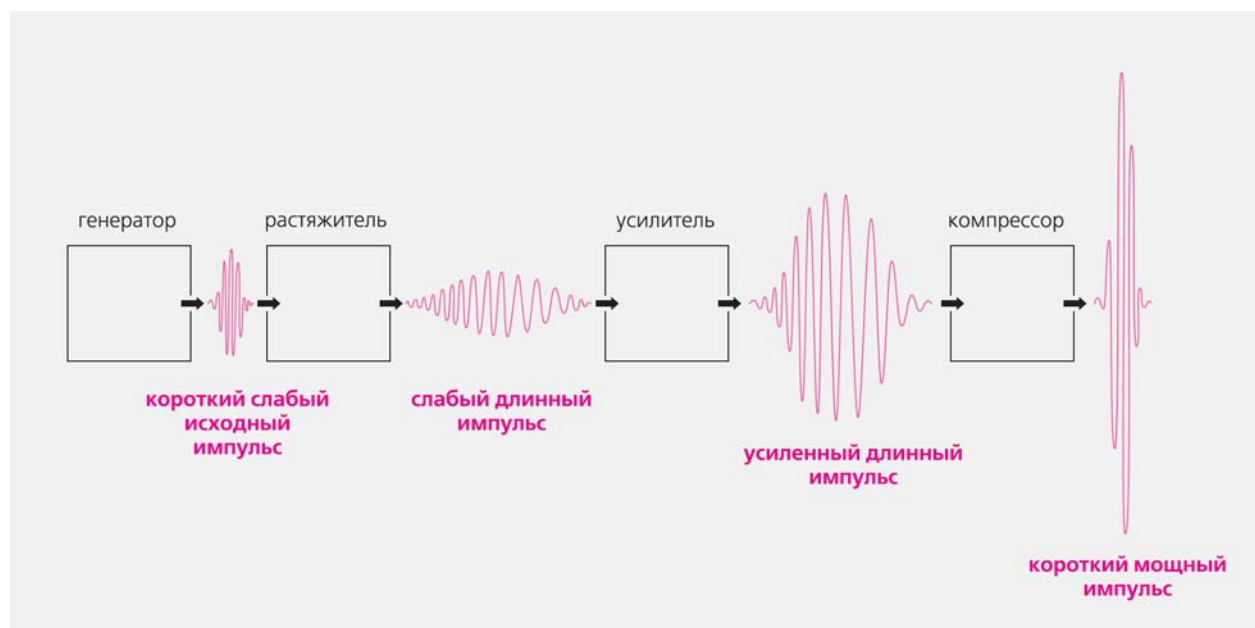


Рис.1. Принцип работы CPA-лазера. Короткий слабый лазерный импульс из генератора поступает в растяжитель, где его длина возрастает в тысячи раз, а частота излучения плавно изменяется по длине импульса (так называемый чирпированный импульс). Затем импульс проходит через усилитель, увеличивающий его энергию на много порядков. Из усилителя импульс попадает в компрессор, где длительность его уменьшается до начального значения.

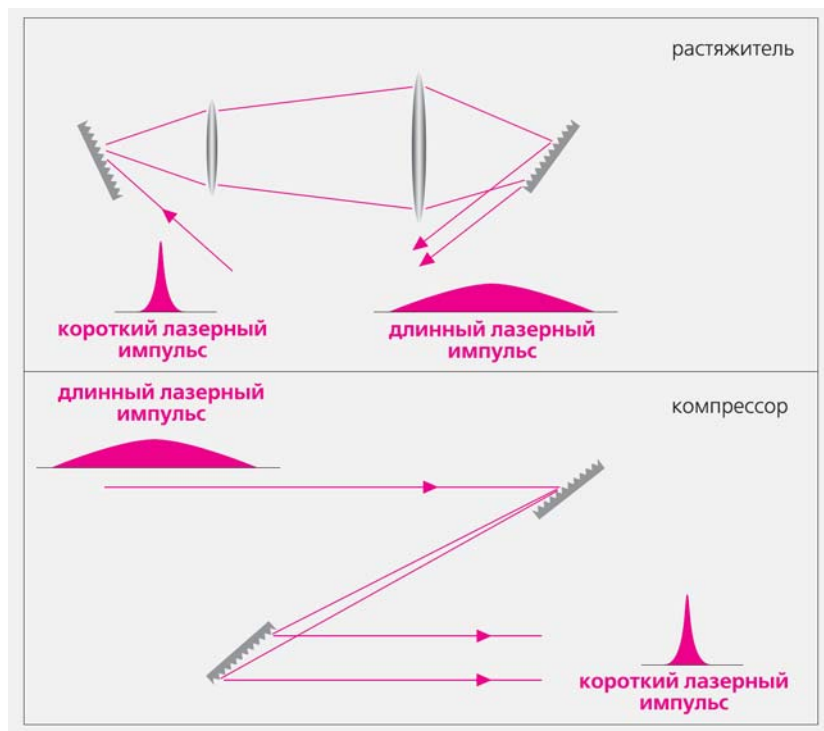


Рис.2. Устройство растяжителя и компрессора. Различные частотные компоненты, образующие лазерный импульс, отражаются от дифракционной решетки под разными углами. При последующем отражении от второй дифракционной решетки, ориентированной определенным образом относительно первой, импульс либо растягивается (верхний рисунок), либо сжимается (нижний рисунок).

ную среду, атомы которой находятся в возбужденном состоянии. Проходя через эту среду, импульс переводит их в нормальное, невозбужденное состояние и собирает энергию атомов. В результате энергия импульса возрастает во много раз, хотя плотность энергии (энергия в единице объема) остается достаточно низкой за счет большой длины импульса. Непосредственное усиление короткого импульса привело бы к очень высокой плотности энергии и в результате как к большим искажениям самого импульса, так и к повреждению усилителя.

После этого длинный, chirпированный импульс, обладающий большой энергией, поступает в устройство, которое называется *компрессор*. Задача последнего состоит в том, чтобы снова сжать импульс до его пер-

воначальной длины. Достигается это за счет эффекта, обратного тому, благодаря которому импульс был растянут.

Теперь остановимся коротко на том, как устроены растяжитель и компрессор.

Как для растяжения, так и для сжатия импульса используются устройства, состоящие из двух дифракционных решеток (рис.2). Каждая из решеток представляет из себя стеклянную пластину, покрытую тонким слоем определенного материала, в котором процарапаны тонкие параллельные линии. Ширина линий, а также расстояние между ними составляет порядка 1 мкм. Свет, падающий под углом на такую пластинку, отражается от нее, причем угол отражения зависит от частоты падающего света. Короткий лазерный импульс содержит свет с различными частотами, кото-

рые от пластинки отражаются под разными углами. Если отраженный свет направить на другую дифракционную пластинку, ориентированную по отношению к первой определенным образом, то можно добиться того, что путь, проходимый волнами с разной частотой, будет различен. В результате после отражения от второй дифракционной решетки волны с разными частотами придут в одно и то же место с различной задержкой по времени. При одной ориентации дифракционных решеток друг относительно друга можно таким путем растянуть импульс и из короткого импульса сделать chirпированный длинный импульс, а при другой ориентации — из длинного chirпированного импульса сделать снова короткий.

В настоящее время в мире, видимо, работает около сотни CPA-лазеров. С их помощью исследуются различные физические эффекты, многие из которых уже находят практическое применение. Ниже мы остановимся на некоторых применениях CPA-лазеров.

### Лазерное ускорение электронов...

Идея использования лазеров для ускорения электронов в плазме была выдвинута в 1979 г. американскими учеными [3]. Применительно к коротким лазерным импульсам первые аналитические исследования были опубликованы в 1987 г. [4] и в 1988 г. [5]. По сути, лазерное ускорение электронов в плазме очень близко к так называемому коллективному методу ускорению электронов, который разрабатывался в течение многих лет в Харьковском физико-техническом институте под руководством Я.Б.Файнберга. О тех проблемах, с которыми сталкивается традиционная вакуумная ускорительная техника, и о коллективных методах ускорения в плазме можно прочитать в ста-



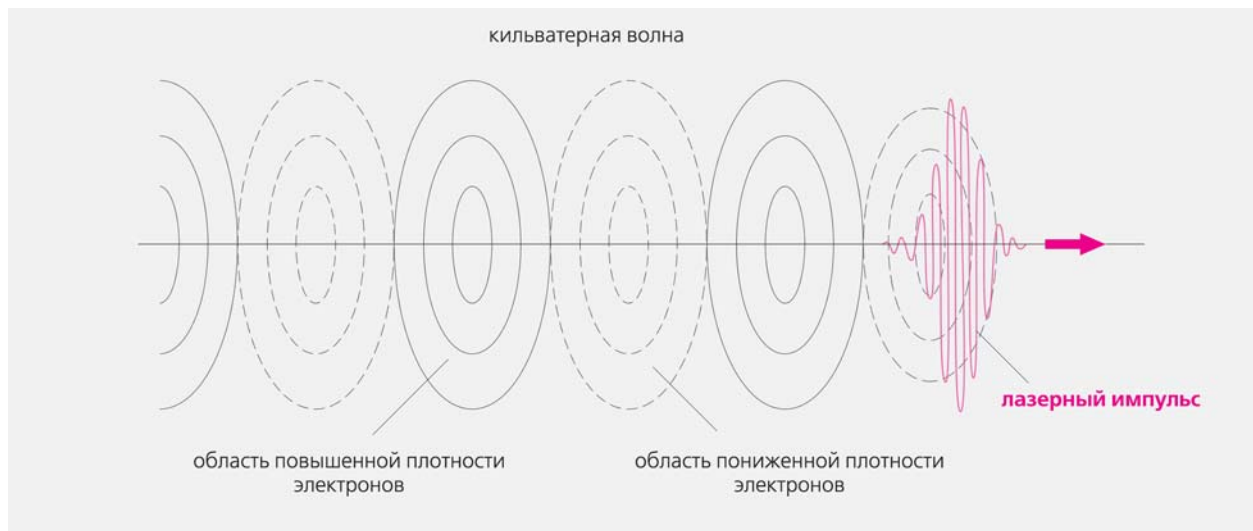


Рис.3. Распространение короткого лазерного импульса в плазме и возбуждение кильватерных волн. Пунктиром показаны линии пониженной электронной плотности, сплошной — линии повышенной электронной плотности. Стрелка показывает направление распространения лазерного импульса.

ть, опубликованной в журнале «Природа» ранее [6].

Применительно к коротким лазерным импульсам ускорение электронов в плазме можно схематически представить следующим образом. Распространяясь в плазме, импульс выталкивает электроны из той области, где

он в данный момент находится (рис.3). Кроме сил со стороны импульса, на электроны действует электрическое поле со стороны ионов плазмы, которые можно считать неподвижными из-за их большей массы. После того, как импульс покинул данную область, на электроны дей-

ствует только поле разделения зарядов, стремящееся вернуть электроны в их исходное положение. Разогнавшись в этом поле, электроны проскакивают свое начальное положение и начинают колебаться относительно ионов на так называемой *плазменной частоте*. Поскольку импульс бежит по плазме и все время выталкивает те электроны, которые встречаются на его пути, он все время позади за собой запускает плазменные колебания. При этом начальная фаза этих колебаний различна в разных точках на пути импульса. В результате возбуждается волна разделения зарядов, фаза которой распространяется по плазме со скоростью импульса (так называемая *кильватерная волна*, рис.4). Электрическое поле этой волны в одной половине периода направлено по направлению распространения импульса, а в другой половине периода — навстречу направлению распространения импульса. Если электрон с начальной скоростью, равной скорости импульса, поместить в ту область плазменной волны, где действующая на него со стороны электрического поля сила направлена по направлению его

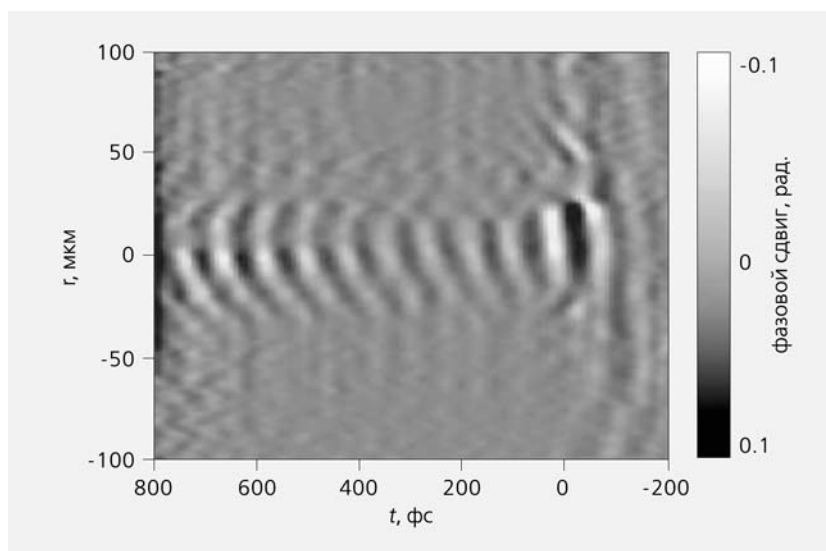


Рис.4. Возмущение плотности электронов в кильватерной волне, возбуждаемой лазерным импульсом с длительностью 30 фс и мощностью ~30 ТВт в плазме с плотностью  $2.2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . По вертикальной оси — радиальная координата, отсчитываемая от оси импульса. По горизонтальной оси — время после прохождения лазерного импульса через данную точку. (По: *Matlis N.H., Reed S., Bulanov S.S. et.al. // Nature Physics. 2006. V.2. P.749—753.*)

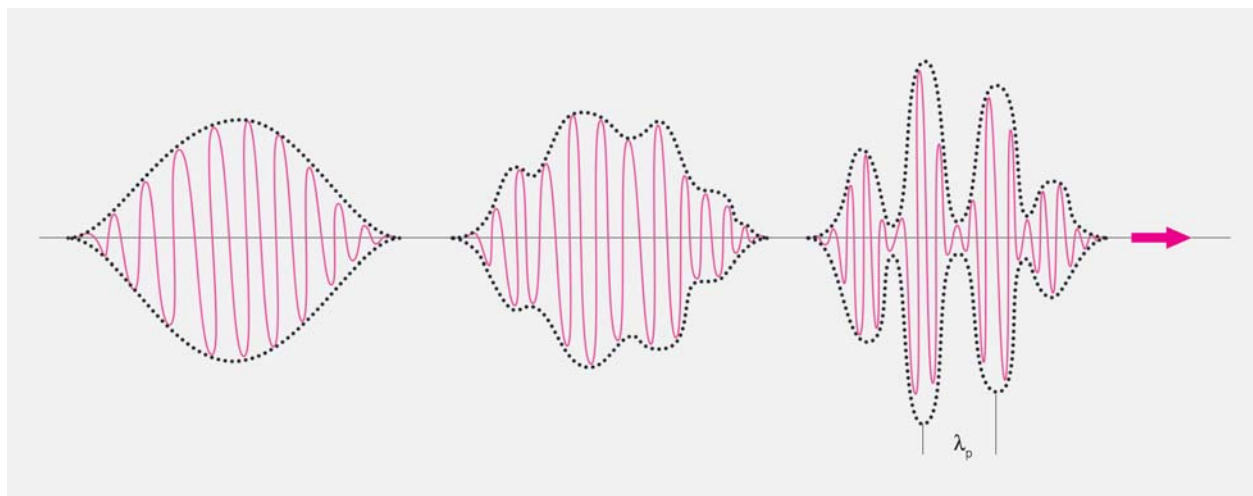


Рис.5. Развитие самомодуляции импульса и его разбиение на цепочку более коротких импульсов. На первоначальном импульсе с плавно изменяющейся в пространстве интенсивностью (левый рисунок) появляется сначала модуляция амплитуды (средний рисунок), а затем он разбивается на цепочку импульсов малой длины (правый рисунок), расстояние между которыми равно длине плазменной волны  $\lambda_p$ .

движения, то электрон, двигаясь вместе с волной, начнет ускоряться. Такой ускоритель получил название «*ускоритель на кильватерной волне*». Для релятивистских частиц, скорость которых близка к скорости света, даже маленькое увеличение скорости отвечает большому возрастанию их энергии. В результате ускорения энергия электрона может значительно увеличиться.

Проведенные во Франции эксперименты показали, что описанный выше механизм ускорения электронов действительно реализуется. Но полученное увеличение энергии электронов оказалось незначительным из-за очень малой длины, на которой это ускорение возникало.

Сначала считалось, что для возбуждения кильватерных волн лучше всего подходят лазерные импульсы с длительностью, близкой к периоду плазменных колебаний, в то время как более длинные импульсы для этой цели не годятся. Но численные расчеты [7–9] и последующие эксперименты показали, что это не так. Лазерный импульс, длина которого значительно превосходит дли-

ну плазменной волны, а мощность превышает определенную величину, в процессе распространения в плазме изменяет свою форму (рис.5). Сначала возникает модуляция его амплитуды, а затем он разбивается на последовательность более коротких импульсов с периодом следования, равным плазменному периоду. Этот эффект получил название *самомодуляции импульса*. Между последовательностью коротких импульсов и плазменными колебаниями возникает резонанс. Каждый последующий короткий импульс увеличивает амплитуду той кильватерной волны, которую возбудил первый короткий импульс. В результате уже внутри лазерного импульса поле плазменной волны становится весьма большим и достигает  $10^9$  В/см. Часть электронов плазмы при этом захватывается в плазменную волну. Они начинают двигаться вместе с волной и ускоряются до энергии порядка 100 МэВ на длине в несколько миллиметров.

Эксперименты, проведенные во Франции, США, Японии, Англии, показали, что в режиме самомодуляции максимальная энергия ускоренных электронов

достаточно высока, но энергетический спектр получается очень широким, что является недостатком с точки зрения возможных применений.

В 2004 г. почти одновременно три экспериментальные группы обнаружили новый режим ускорения электронов, при котором энергия доходила до 250 МэВ, а энергетический спектр был достаточно узким. В этом режиме интенсивность лазерного излучения превосходила  $10^{19}$  Вт/см<sup>2</sup>, а длина импульса была близка к длине плазменной волны. Силы высокочастотного давления, действующие на электроны плазмы, были столь велики, что сразу позади импульса возникала почти сферическая область, в которой практически не было электронов. Эту область стали называть *bubble* (пузырь), а сам режим ускорения — *bubble-режимом* (рис.6). Из плазмы в эту область захватывалось некоторое количество электронов плазмы, которые и ускорялись.

В настоящее время накоплен уже значительный экспериментальный и теоретический материал, достаточный для проектирования и строительства лазерного ускорителя на энергию

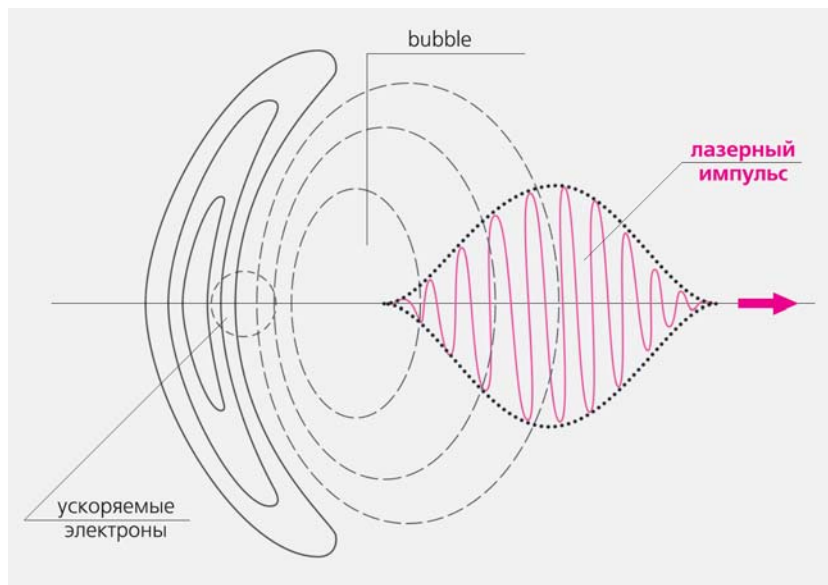


Рис.6. Распространение лазерного импульса в bubble-режиме. Сразу сзади за импульсом образуется область, в которой нет электронов (электронный пузырь). В нее захватывается из плазмы маленький электронный сгусток, который ускоряется.

электронов более 1000 МэВ. Сейчас несколько таких проектов близки к реализации.

**...И ИОНОВ**

В 2000 г. при облучении тонких фольг высокоинтенсивными (более  $10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup>) лазерными импульсами были обнаружены протоны с энергией до 10 МэВ, вылетающие в основном из задней стенки фольги в направлении распространения импульса [10]. Этот результат вызвал большой интерес. Опыты были повторены во многих лабораториях. Максимальная измеренная энергия протонов в некоторых из них достигала 60 МэВ, а их число доходило до  $10^{12}$  на один лазерный импульс.

Как возникают протоны с такой высокой энергией? Анализ экспериментальных данных и численные расчеты показали, что под действием лазерного импульса в фольге возникают быстрые электроны, которые проходят фольгу насквозь и вылетают с ее противоположной стороны. Но далеко улететь они

не могут. Их останавливает электрическое поле ионов, оставшихся в фольге. Вблизи задней поверхности мишени образуется отрицательно заряженный слой, состоящий из электронов. Электрическое поле, создаваемое этими электронами, направлено перпендикулярно к поверхности и достигает величины, достаточной для того, чтобы

ионизовать атомы, находящиеся на поверхности. Затем, под действием этого же электрического поля, ионы начинают ускоряться. Возникает двойной слой, состоящий из разделенных в пространстве слоев электронов и ионов, который вылетает из мишени. В процессе ускорения энергия от электронов переходит к ионам. Наиболее эффективно ускоряются легкие ионы (протоны), образовавшиеся из атомов водорода, адсорбированного на поверхности фольги (рис.7).

Такие источники энергичных ионов уже находят применение в протонной радиографии, когда изображение объекта получают, просвечивая его пучком протонов. Таким методом удастся, в частности, определить структуру электрических полей внутри исследуемого объекта. Но наибольшие перспективы лазерные источники быстрых ионов имеют в медицине (онкология). Дело в том, что именно протоны целесообразнее использовать для воздействия на раковые опухоли. В настоящее время источниками таких протонов служат различные вакуумные ускорители, весьма громоздкие и дорогие. Высказываются надежды, что лазерные источники окажутся более компактными и дешевыми.

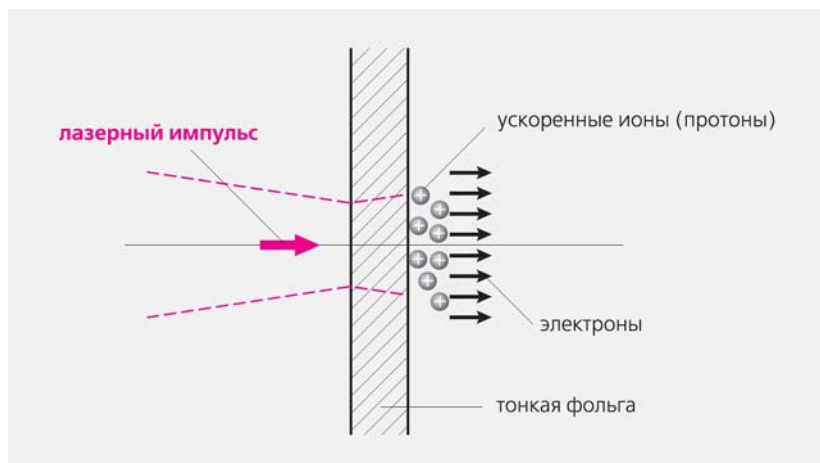


Рис.7. Ускорение ионов (протонов) при облучении коротким лазерным импульсом тонкой фольги. Лазерный импульс падает на левую границу фольги, быстрые электроны вылетают через правую границу фольги и ускоряют ионы своим электрическим полем.



## Быстрое зажигание термоядерного синтеза

Работы по управляемому термоядерному синтезу ведутся в основном по двум направлениям. В одном из них реакция ядерного синтеза идет в горячей плазме, удерживаемой магнитным полем (так называемое *магнитное удержание*). В другом — плазма создается и нагревается настолько быстро, что не успевает разлететься (так называемое *инерционное удержание*). Для быстрого создания и нагрева плазмы используются лазеры.

Самой простой является схема прямого сжатия и нагрева ядерного топлива. Лазерные пучки направляются со всех сторон на сферическую оболочку, заполненную смесью дейтерия и трития, при слиянии ядер которых и выделяется энергия. Но для того, чтобы реакция началась, температура внутри мишени должна достигать до 10 кэВ (100 млн градусов). Такой гигантской температуры можно достичь, если резко сжать внутреннюю часть мишени (внешняя оболочка при этом разлетится). Если достичь требуемой температуры при достаточно высокой плотности плазмы, то начнется реакция синтеза, и дальше температура будет поддерживаться за счет выделя-

ющейся при этом энергии. В каком-то смысле такая схема напоминает работу дизельного двигателя, где топливо самовоспламеняется за счет его сильного сжатия.

В отличие от дизельного, в обычном бензиновом двигателе топливо сжимается до меньшего давления и поджигается электрическим разрядом (свеча зажигания). Возникает естественная мысль поджечь и ядерную реакцию при умеренном давлении, используя в качестве своеобразной «свечи» ультракороткий сверхмощный лазерный импульс.

На рис.8 показан принцип работы термоядерного устройства с быстрым поджигом топлива, предложенный в 1994 г. сотрудниками Ливерморской национальной лаборатории США [11]. Сначала сферическая оболочка с ядерным топливом сжимается под действием нескольких лазерных пучков с достаточно длинными импульсами. Когда степень сжатия достигает определенной величины, относительно короткий лазерный импульс (длительность  $\sim 10^{-10}$  с), имеющий интенсивность  $\sim 10^{19}$  Вт/см<sup>2</sup>, проделывает в оболочке отверстие, через которое вводится в центр мишени короткий импульс с длительностью  $\sim 6 \cdot 10^{-12}$  с и интенсивностью  $\sim 10^{20}$  Вт/см<sup>2</sup>. В процессе прохож-

дения через разреженные слои плазмы этот импульс ускоряет электроны до энергии в несколько МэВ, которые и нагревают термоядерное топливо до температуры, необходимой для начала цепной реакции.

К настоящему времени предложено еще несколько схем быстрого поджига ядерной реакции, в частности с использованием энергичных ионов, возникающих при взаимодействии сверхмощных лазерных импульсов с тонкими фольгами.

Осуществление быстрого поджига термоядерной реакции требует проработки многих вопросов, которая в настоящее время ведется в лабораториях Японии, США, Франции, Великобритании и др.

## Ядерные реакции в луче лазера

Выше уже упоминалось, что при интенсивности лазерного излучения, превышающей  $10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup>, скорость движущегося в лазерном поле электрона становится сравнимой со скоростью света. Если интенсивность составляет  $3 \cdot 10^{20}$  Вт/см<sup>2</sup>, то энергия электрона приблизительно равна 5 МэВ. Непосредственно сам электрон с такой энергией не вызывает ядерных реакций, но, пролетая в ок-

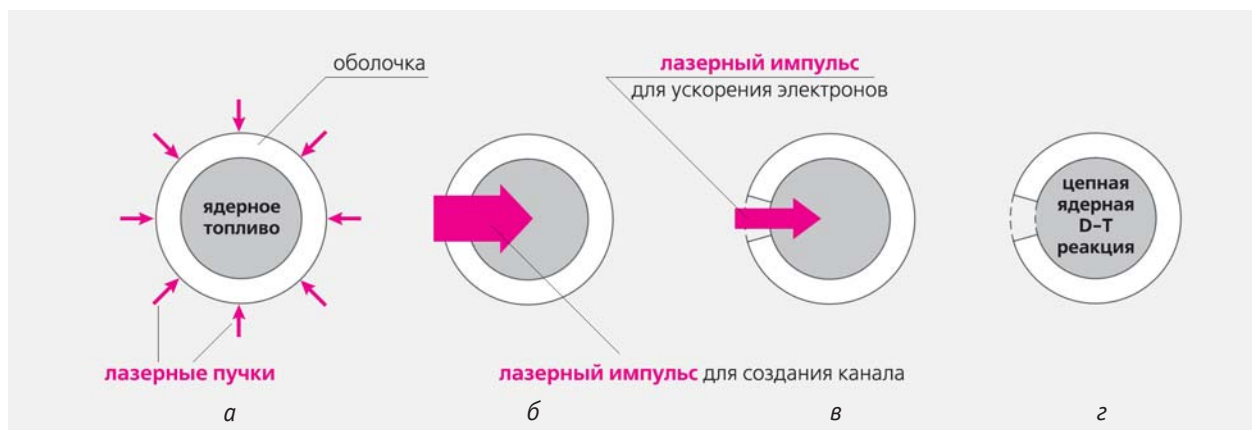


Рис.8. Процесс управляемого лазерного термоядерного синтеза с быстрым поджигом топлива коротким лазерным импульсом. Сначала лазерные пучки сжимают ядерное топливо (а), затем мощный короткий импульс проделывает канал в оболочке (б) и второй импульс ускоряет электроны (в) и поджигает цепную ядерную реакцию (г).

рестности ядра, электрон излучает  $\gamma$ -кванты с энергией в несколько МэВ. Именно эти  $\gamma$ -кванты и взаимодействуют с ядром, вызывая так называемые *фотоядерные реакции*. Обычно в результате такого взаимодействия  $\gamma$ -квант выбивает из ядра нейтрон. Образовавшееся ядро соответствует изотопу исходного элемента и, как правило, через какое-то время распадается. Измеряя характеристики продуктов распада, можно удостовериться в том, что произошла фотоядерная реакция. На рис.9 показана схема эксперимента [12], результаты которого были опубликованы в 2000 г. К настоящему времени такие фотоядерные реакции, стимулированные мощными лазерными импульсами, наблюдались для многих элементов.

Другой тип ядерной реакции был реализован в 1998 г. [13]. Лазерный импульс направлялся на специально подготовленную плоскую фольгу толщиной 200 мкм, содержащую атомы дейтерия — изотопа водорода,

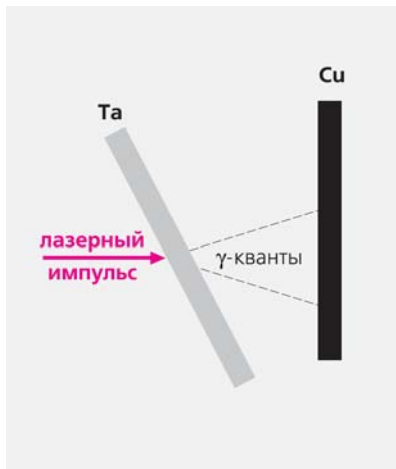


Рис.9. Схема эксперимента по фотоядерной реакции. Левая фольга из тантала служит для генерации  $\gamma$ -квантов. В правой фольге из меди происходит фотоядерная реакция  ${}^{63}\text{Cu} + \gamma \rightarrow n + {}^{62}\text{Cu}$ . Изотопы  ${}^{62}\text{Cu}$  распадаются с выделением позитронов, которые регистрируются.

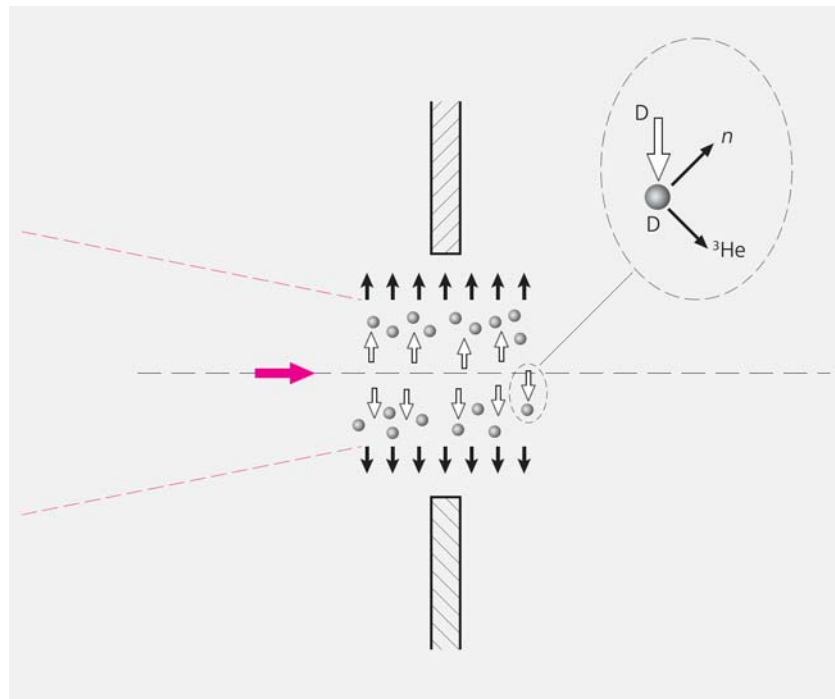


Рис.10. Схема эксперимента по D-D реакции. На мишень из  $[\text{C}_2\text{D}_4]$  падает сначала лазерный импульс, создающий плазму. Затем падает второй ультракороткий импульс, образующий плазменный канал. Выброшенные в радиальном направлении ионы дейтерия сталкиваются с медленными ионами дейтерия. В результате реакции  $\text{D} + \text{D} \rightarrow {}^3\text{He}(0.82 \text{ МэВ}) + n(2.45 \text{ МэВ})$  возникают нейтроны, которые регистрируются.

ядро которого состоит из одного протона и одного нейтрона. Первый достаточно длинный ( $3 \cdot 10^{-10}$  с) лазерный импульс ионизовал вещество мишени и образовывал плазму. Вторым, более коротким ( $6 \cdot 10^{-14}$  с), интенсивным ( $10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup>) и узким (диаметр 4.5 мкм) лазерным импульсом направлялся на эту плазму, выталкивая в радиальном направлении электроны, образуя оголенные ионы. Оставшись без электронов, одноименно заряженные ионы расталкивались и разлетались (так называемый *кулоновский взрыв*) (рис.10). При этом они приобретали большую скорость, сталкивались с находящимися вне лазерного фокуса медленными ионами и вызывали реакцию слияния двух ядер дейтерия. В результате последней реакции образовывались нейтроны с энергией 2.45 МэВ, которые регистрировались.

Возможность инициирования ядерных реакций с помощью лазеров привлекательна с экологической точки зрения. С помощью фотоядерных реакций долгоживущие радиоактивные элементы могут быть преобразованы в их короткоживущие изотопы.

### Синхротронное и субмиллиметровое излучение

Для исследования и диагностики различных веществ необходимо располагать источниками электромагнитного излучения в широком частотном диапазоне от жесткого рентгена до субмиллиметровых волн. Для этих целей могут быть использованы короткие мощные лазерные импульсы. Здесь мы остановимся на двух областях длин волн — очень короткие волны

с длиной менее  $10^{-8}$  см (*синхротронное излучение*) и весьма длинные волны с длиной  $10^{-2}$  см (*субмиллиметровое излучение*), которые могут быть получены при взаимодействии коротких лазерных импульсов с плазмой.

Обычно источником синхротронного излучения служит пучок высокоэнергичных электронов, движущийся в магнитном поле. Создание относительно компактных лазерно-плазменных ускорителей электронов, о которых речь шла выше, откроет новые возможности для традиционного метода генерации синхротронного излучения. Однако есть и другой путь для генерации этого излучения непосредственно в процессе ускорения электронов.

Как уже говорилось выше, мощный короткий импульс, распространяясь в плазме, возбуждает сзади за собой кильватерные волны, которые могут захватывать часть электронов. Захваченные электроны, двигаясь вместе с кильватерной волной, одновременно осциллируют в поперечном направлении на масштабах порядка ширины кильватерной волны. Связанное с этим искривление траектории электрона сопровождается излучением, которое при соответствующей энергии электронов может иметь частоту того же порядка, что и синхротронное излучение.

Короткие лазерные импульсы могут пригодиться и для генерации значительно более низкочастотного излучения, которое применяется для спектроскопии органических материалов. Это излучение относится к субмиллиметровому диапазону, что отвечает терагерцовому интервалу частот ( $1 \text{ ТГц} = 10^{12} \text{ Гц}$ ). В плазме с концентрацией около  $10^{19} \text{ см}^{-3}$  плазменные колебания имеют как раз частоту такого порядка. Но воспользоваться этим совсем не просто. Дело в том, что плазменные колебания не порождают электромагнитного излучения. Поэтому кильватерная волна, возбуждаемая в однородной

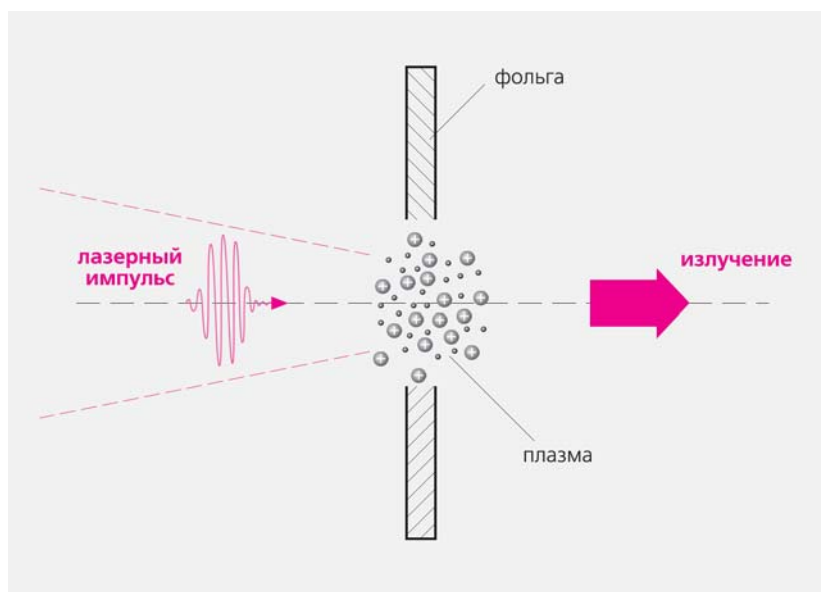


Рис.11. Пересечение лазерным импульсом границы плазма-вакуум. Неоднородная плазма создается при ионизации фольги лазерным импульсом. Второй ультракороткий лазерный импульс возбуждает в плазме кильватерную волну, в поле которой ускоряются электроны. Проходя через границу плазмы, они создают электромагнитное переходное излучение в терагерцовом диапазоне частот.

плазме коротким лазерным импульсом, не должна давать излучения вне плазмы. Однако в первом эксперименте, где были зафиксированы кильватерные волны, наблюдалось излучение на плазменной частоте. Причина неожиданного результата кроется в неоднородности реальной плазмы. Из-за неоднородности плотности возбуждаемые импульсом волны содержат электромагнитную составляющую, покидающую плазму в виде излучения. В другом эксперименте терагерцовое излучение возникло в процессе выхода импульса из плазмы (рис.11). Объяснение этому факту авторы видят в том, что вслед за импульсом через границу плазмы проходят маленькие сгустки электронов, захваченные в кильватерную волну. При пересечении границы электронами возникает так называемое переходное электромагнитное излучение. К такому же переходному излучению приводит и пересечение границы плазмы падающим на нее лазерным импульсом. Помимо это-

го, излучение, подобное известному черенковскому излучению, возникает и в случае распространения лазерного импульса в плазме, помещенной во внешнее магнитное поле. В отличие от обычного черенковского излучения, которое создается заряженными частицами, в данном случае источником излучения служит короткий лазерный импульс.

Создание достаточно мощных источников терагерцового излучения даст надежный инструмент не только для диагностики в биологии и медицине, но и в сфере безопасности для поиска наркотиков и органической взрывчатки.

\* \* \*

Создание СРА-лазеров, способных генерировать ультракороткие сверхмощные лазерные импульсы, открыло широкие перспективы для разнообразных исследований. Благодаря относительной дешевизне и умеренным габаритам, эти лазеры появились в последние годы



во многих быстро развивающихся в научном отношении странах (Китае, Индии, Корее, Голландии, Греции и др.). Самые мощные лазеры строятся в настоящее время во Франции, Японии, Германии, США.

Интерес к этим лазерам расширяется и связан с двумя факторами. С одной стороны, они позволяют исследовать свойства вещества в сверхсильных электромагнитных полях, когда неприменимы многие традицион-

ные физические представления. С другой стороны, они могут стать тем инструментом, который найдет много разнообразных применений в медицине, экологии, обеспечении безопасности. ■

## Литература

1. Mourou G., Tajima T., Bulanov S.V. // Review of Modern Physics. 2006. V.78. P.309—371.
2. Strickland D., Mourou G. // Optic Communications. 1985. V.56. P.219—221.
3. Tajima T., Dawson J.M. // Phys. Rev. Lett. 1979. V.43. P.267—271.
4. Горбунов Л.М., Курсанов В.И. // ЖЭТФ. 1987. Т.93. С.509—518.
5. Sprangle P., Esarey E., Ting A., Joyce G. // Appl. Phys. Lett. 1988. V.53. P.2146—2148.
6. Горбунов Л.М. Ускорители XXI века? // Природа. 1988. №5. С.15—23.
7. Андреев Н.Е., Горбунов Л.М., Курсанов В.И. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т.55. С.551—555.
8. Antonsen T., Mora P. // Phys. Rev. Lett. 1992. V.69. P.2204—2207.
9. Sprangle P., Esarey E., Krall J., Joyce G. // Phys. Rev. Lett. 1992. V.69. P.2000—2003.
10. Clark E.L., Krushelnick K., Davies J.R. et al. // Phys. Rev. Lett. 2000. V.84. P.670—673.
11. Tabak M., Hammer J., Glinsky M.E. et al. // Phys. Plasmas. 1994. V.1. P.1626—1634.
12. Ledingham K.W., Spencer L., McCanny T. et al. // Phys. Rev. Lett. 2000. V.84. P.899—902.
13. Pretzler G., Saemann G.A., Pukhov A. et al. // Phys. Rev. E. 1998. V.58. P.1165—1168.

Французские и бразильские биологи из Центра международной кооперации по развитию агрономических исследований в результате 20-летних усилий вывели в ботаническом саду г.Монпелье (Франция) новую разновидность каучуконосного дерева — гевеи (*Hevea*). Она отличается высоким содержанием каучука в млечном соке и в то же время устойчива к грибу *Microcyclus ulei*, который выжил это дерево из Южной Америки (сейчас гевея культивируется в тропических районах Азии и Африки). Цель исследователей — возвращение гевеи на родину, однако на первом этапе ее посадят в районах, не пораженных грибом.

Science et Vie. 2006. №1064. P.42 (Франция).

Начиная с апреля 2007 г. дирижабль, получивший название

«PoleAirShip» (командир этого воздушного судна — Ж.-Л.Этьен), будет совершать облеты арктического ледового покрова для оценки его динамики. За последние 30 лет под воздействием глобального потепления он уже потерял 40% своей толщины. При таком темпе, считают климатологи, не пройдет и полувек, как ледовый покров в период арктического лета будет исчезать полностью. Sciences et Avenir. 2006. №713. P.27 (Франция).

Угольный бассейн Джария на северо-востоке Индии известен многочисленными пожарами в подземных копиях: более 70 очагов находятся на особом учете. Такие пожары, длящиеся десятками лет (один из них — с 1916 г.), превращают этот район в ад: постоянно высокая температура воздуха, оползни,

срочные эвакуации населения... Для картографирования динамики пожаров индийские экологи разработали метод анализа космических снимков, сделанных спутниками Национальной администрации США по океану и атмосфере. Sciences et Avenir. 2006. №715. P.27 (Франция).

В конце мая 2006 г. произошло извержение вулкана Картала на Коморских о-вах (Индийский океан). Лава заполнила основной кратер, покрыв всю его поверхность породой красного цвета. Над самим кратером образовывались облака тоже красного цвета. Хотя лава не вышла за границы кратера, извержение сильно встревожило жителей острова, внимательно следивших за его ходом. Geotimes. 2006. V.51. №7. P.39 (США).

# Структура русского генофонда

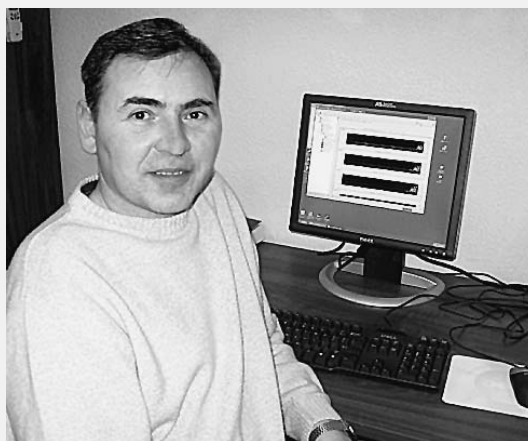
Б.А.Малярчук, М.В.Деренко

## Немного славянской истории

Прежде чем рассказать о результатах исследования структуры русского генофонда, напомним — буквально в нескольких словах — историю славян. Эту самую многочисленную группу народов в Европе принято делить на западных славян, южных и восточных. К западным относят поляков, чехов, словаков и лужичан; к южным — болгар, сербов, хорватов, словенцев, македонцев, боснийцев, черногорцев, а к восточной — русских, украинцев и белорусов. Вполне естественно, что вопросами происхождения славян занимаются многие ученые разных специальностей: историки, археологи, языковеды, этнографы, антропологи и др. Делаются попытки восстановить этническую историю народов по предметам материальной культуры, на основании языка и письменности, по физическим типам людей.

Совокупность полученных данных приводит исследователей к разным гипотезам, которые можно разделить на две диаметрально противоположные по смыслу группы. По гипотезам одной группы, славянские народы произошли от общих предков; в соответствии с гипотезами другой группы, предки у нынешних славянских народов были разные, т.е. они не связаны общностью происхождения.

Сейчас в славянской группе народов, как, впрочем, и любых



**Борис Аркадьевич Малярчук**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией генетики Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН (Магадан). Область научных интересов — методы молекулярной генетики в решении проблем происхождения народов, этногенез славян, молекулярная филогеография.



**Мирослава Васильевна Деренко**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник того же института. Научные интересы включают методы молекулярной генетики в решении проблем происхождения народов, этногенез народов Сибири, молекулярную филогеографию.

© Малярчук Б.А., Деренко М.В., 2007

других, виден результат их длительной истории. Поэтому и не удивительно, что современные славяне антропологически неоднородны и даже принадлежат к разным ветвям европеоидной расы. Признаки, характеризующие отдельные славянские группы, проявляются и у соседних народов. Причину тому исследователи видят в расселении древних славян на обширных территориях Европы, интенсивнее всего проходившем в VI—VII вв. [1]. В новых местах они контактировали с разными народами: с германцами на западе, с фракийцами, кельтами, иллирийцами на юге, с иранцами и финно-уграми на востоке, с балтами на севере. Естественно, что инородцы воздействовали на славян и со временем внесли собственные черты в их антропологический облик.

По археологическим и лингвистическим данным, прародиной славянских народов был Северокарпатский регион, включавший Галицию, Волынь и Подолье, откуда и началось продвижение по Европе. В VII—VIII вв., по мнению В.О.Ключевского, славяне восточной ветви, занимавшие северо-восточные склоны Карпат, стали продвигаться на восток и северо-восток Европы под натиском аваров [2].

Уже ко времени переселения славян в Восточную Европу соотношение исходных антропологических компонентов в их группах могло отличаться. По мере же освоения восточноевропейских территорий в разных направлениях все более проявлялся полиморфизм (разнообразие сочетаний антропологических признаков), обусловленный смешением с местным населением. Например, по комплексу расово-диагностических признаков белорусы и русские сходны с северо-западными народами (т.е. сказывается финно-угорское и летто-литовское влияние), а украинцы — с южными (из-за иранского и романского влияния) [3].

Становление государственности на Руси, очевидно, в немалой степени способствовало межэтническим взаимодействиям в пределах европеоидной расы. Свой вклад в метисацию внесло и освоение новых земель на востоке Евразии, где славянское население соприкасалось с монголоидным. В Восточной Европе Русь расширялась за счет колонизации северо-восточных территорий; там строились русские города и заставы, заселяемые восточными славянами «из разных мест, из разных племен». Поэтому славянское население Руси издревле различалось антропологически. Продвигаясь из Руси древней, юго-западной, в Русь новую, северо-восточную, оно смешивалось с автохтонным балтским и финно-угорским населением.

Историки полагают, что в Восточной Европе до IX в. существовали два территориальных массива славян — юго-западный и псковско-новгородский, объединение которых привело к созданию Древнерусского государства [4]. Таким образом, исторические сведения, археологические и лингвистические данные свидетельствуют об антропологической гетерогенности исходного населения, ставшего основой русского народа. Действительно, обобщенный картографический анализ антропологических данных выявляет в составе русского населения три «ядерные структуры» — восточную, центральную и западную. Первая сформировалась на основе дославянского субстрата, вторая — за счет длительной метисации, третья — за счет исходного заселения славянским народом [5].

Такой, в весьма кратком изложении, вырисовывается история славянских народов, и русского в том числе, на основе археологических, лингвистических и антропологических сведений. Подтверждается она, подвергается исправлениям или вовсе отвергается результатами генетических исследований, активно про-

водимых в последние десятилетия? Чтобы ответить на этот вопрос, приведем здесь собственные сведения по молекулярной антропологии русского народа.

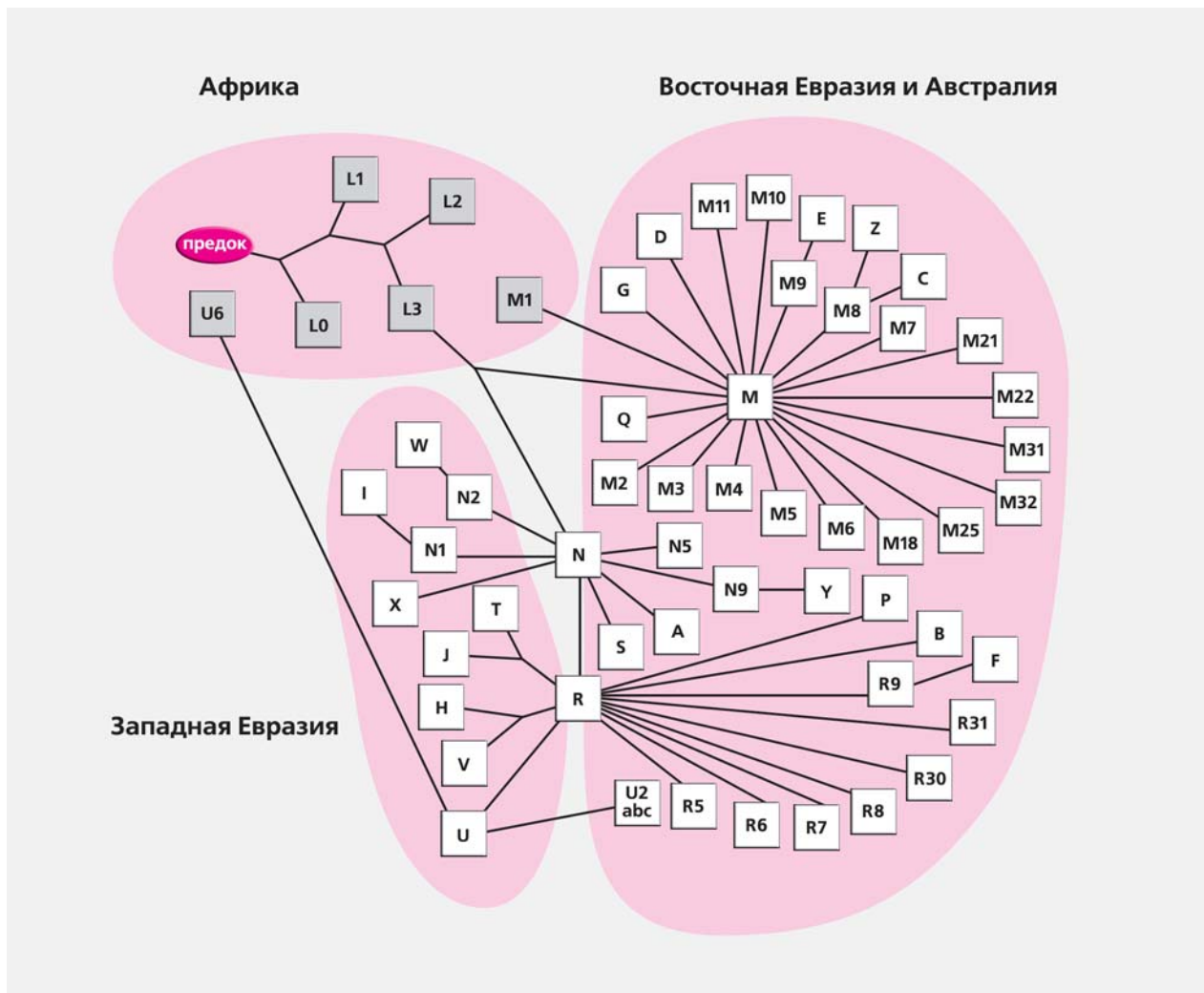
## Родительские линии ДНК в генофонде русских

Этническое своеобразие любого народа обусловлено генетическими процессами, которые сиюминутно внешне себя ничем не проявляют. Но о них можно узнать, оценив сходства и отличия в детальном строении ДНК — митохондриальной (мтДНК), которая, напомним, наследуется по материнской линии, и Y-хромосомы, наследуемой по отцовской линии. Сейчас в мире уже существуют богатые базы данных, содержащие сведения о последовательности нуклеотидов в этих молекулах, на их основе строятся филогенетические деревья. Относительно недавно, в последние 10—20 лет, возникла даже самостоятельная научная дисциплина — молекулярная антропология. Ее объектами и служат мтДНК и Y-хромосома, а конечной целью — генетическая история того или иного народа. Число исследований такого рода растет с каждым годом, мы тоже применяем молекулярно-генетический подход для изучения структуры геномов разных этносов, чтобы узнать их истоки [6].

Реконструировать процессы, которые приводят к формированию генофондов популяций, этнических групп и этнорасовых общностей, выяснить, как они распределялись пространственно за время их истории, можно с использованием больших массивов данных об изменчивости ДНК. Что касается евразийских народов, то в современный анализ филогеографической изменчивости\* ДНК во-

\* Филогеографическая изменчивость — это распределение вариантов ДНК этноса (популяции, группы) за время существования в определенном географическом пространстве.





Филогенетическое дерево митохондриальной ДНК человека.

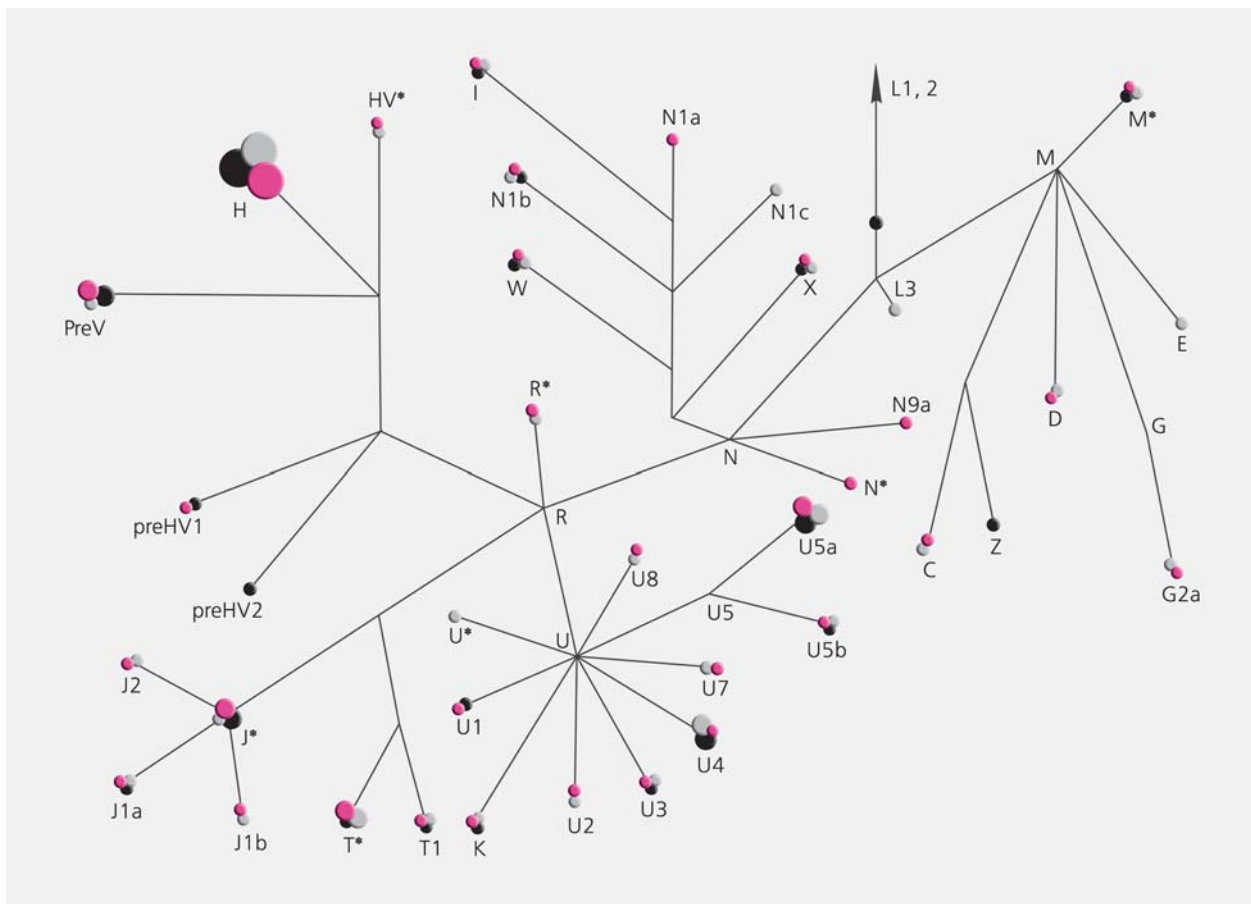
влечены много тысяч человек из различных стран и регионов. По этим вполне представительным статистическим выборкам в линии мтДНК удалось выделить монофилетические группы и подгруппы, а затем реконструировать последовательность ее эволюционных изменений.

На сегодня уже установлено, какие митохондриальные линии присущи населению Западной и Восточной Евразии, Африки, Австралии и Америки. По современным представлениям, все евразийские группы мтДНК входят в состав трех макрогрупп — М, N и R, которые произошли примерно 65 тыс. лет назад из африканской ми-

тохондриальной группы L3. Важно, что распределение линий мтДНК в генофонде населения Евразии характеризуется выраженной этнорасовой специфичностью. Например, генофонды народов западной и восточной частей Евразии различаются кардинально. Почти все линии мтДНК корейцев и бурят относятся к набору восточно-евразийских групп — А, В, С, D, F, G, M7, M8a, M9, M10, M11, Y, Z, N9a, R9. Европейцам же свойственны группы H, HV\*, pre-V, T, J, K, U2, U3, U4, U5, U8, N1a, I, W и X. В другой части Евразии, в северной, судя по полученным к настоящему времени данным, лишь в краевых попу-

ляциях почти полностью преобладают митохондриальные линии одного этнорасового происхождения — монголоидного или европеоидного. Огромная же по протяженности территория (от Алтае-Саянского нагорья до Восточно-Европейской равнины) представляет собой древнюю контактную зону. Именно в ней проходил расогенез за счет межрасового смешения.

В начале 90-х годов мы занялись исследованием этнической истории русского народа, для чего изучали вариабельность материнских и отцовских линий ДНК, т.е. мтДНК и Y-хромосомы. Чтобы выявить измен-



Структура митохондриального генофонда русских и еще двух славянских народов — поляков и боснийцев. Кластеры (группы и подгруппы) мтДНК обозначены буквами; розовыми кружками (их размер пропорционален частоте гаплотипа мтДНК) даны кластеры русских, серыми — поляков, черными — боснийцев.

чивость мтДНК в популяциях, использовали комбинированный прием: анализировали рестриционный полиморфизм\* фрагментов кодирующих районов и изменчивость нуклеотидных последовательностей некодирующих гипервариабельных участков. В результате выяснилось, что митохондриальный генофонд русского населения характеризуется высоким разнообразием, но встречались и общие группы. Наиболее частыми из них были H, U, T и J — те же группы, которые широко распространены в генофондах дру-

\* Имеются в виду различия в наборах участков мтДНК, возникающих при ее расщеплении (рестриции) специальными ферментами. В данном случае расщеплению подвергали не всю мтДНК, а только кодирующие участки.

гих европейских народов. Монголоидная примесь у русских оказалась незначительной — около 1.5%, причем ее составляли группы мтДНК (C, D, M\*, G2a, N9a) восточноевразийского происхождения.

Необходимо было попытаться выяснить истоки разнообразия мтДНК у русских, понять, не следствие ли это особенностей формирования славянского этноса. Поэтому мы посмотрели, как распределяются гаплотипы мтДНК в европейских популяциях: русских, поляков, боснийцев, словенцев, финнов, французов, немцев. Судя по результатам этого филогеографического анализа, митохондриальные генофонды европейцев имеют общие черты. Маркеры же, которыми одни этнические

группы и общности отличаются от других, представлены, как правило, комбинациями редких подгрупп и отдельных гаплотипов мтДНК. Следовательно, существует единый генетический субстрат, на основе которого развивались генофонды западных и восточных славян, а также их соседей — германцев и западнофинских народов (эстонцев и финнов) [7]. Отдельные митохондриальные линии этого субстрата попали и в генофонд народов, населявших юг Европы и Балканы (по-видимому, в основном в процессе славянских миграций). Об этом можно судить, приняв во внимание тот факт, что южнославянские популяции отличаются генетически от их соседей — греков, албанцев и итальянцев [8].

Основываясь на данных об изменчивости мтДНК, мы попытались выяснить, что стало с этой молекулой при дифференциации славян на восточных, западных и южных [9]. Кроме того, посмотрели, как сказано такое разделение на генофондах соседних популяций Европы и Западной Азии. Оказалось, что между разными группами славян существуют не только антропологические, но и генетические различия. Их сила определяется в значительной мере степенью метисации с тем дославянским населением, которое существовало в пределах современного этнического ареала славян. Кроме того, сказывается и интенсивность, с которой они взаимодействовали с соседними народами. Последний вывод следует из того, что соседи русских, западнофинские популяции, характеризуются относительно высоким генетическим сходством с русскими, германские популяции — с западными славянами, а балканские — с южными. Проще говоря, в молекулах мтДНК соседней запечатлены характерные славянские черты — признак тесного взаимодействия пришлых и местных народов. Из всех этих результатов напрашивается вывод о единстве происхождения славян, центральное положение среди которых принадлежит западным группам. Иначе говоря, генофонд западных славян включает максимальное число типов мтДНК, встречающихся как у восточных, так и у южных славян, хотя между этими двумя группами нет высокого генетического сходства. По всей видимости, можно предположить, что генофонд западных славян ближе к исконно славянскому, но это пока всего лишь предположение.

Другая генетическая система, изменчивость которой теперь активно изучается в филогеографических исследованиях, — это нерекombинирующая часть Y-хромосомы. С ее помощью можно составить представ-

ления о распространенности в популяциях тех или иных маркеров, которые, как и в мтДНК, несут информацию о генетической истории этнорасовых групп человека.

В своих исследованиях мы тоже анализировали изменчивость Y-хромосомы, изучая разнообразие ее линий в русских популяциях. Для этого использовали биаллельные SNP-локусы\* ее ДНК, так как вариантами их полиморфизма определяется топология филогенетического дерева Y-хромосомы. Было проведено исследование около 400 индивидуальных препаратов ДНК русского населения из восьми областей — Белгородской, Орловской, Тульской, Калужской, Владимирской, Нижегородской, Ярославской и Псковской.

В результате выяснилось, что мужской генофонд русских представлен 14 группами Y-хромосомы (P\*, R1\*, R1a, N\*, N3, BR\*, C, F\*, G, I, J, H, E, K\*). Однако большинство линий (80%) относятся лишь к трем из них — R1a, I и N3. Наиболее интересными представляются группы R1a и N3, поскольку в Европе первая маркирует славянские народы, а вторая распространена с наибольшей частотой (более 50%) у финно-угорского и балтского населения Северной и Восточной Европы и практически отсутствует в генофондах западных и южных европейцев, включая славян [10]. Там, где славяне соседствуют с другими этническими общностями, в ДНК Y-хромосомы последних резко снижается частота встречаемости R1a [10, 11]. Так, например, характеризуются немцы, живущие в приграничных с поляками или с сорбами (лужицкими сорбами, или лужичанами) районах.

В генофонде русских частота встречаемости N3 варьирует

в широком диапазоне: от 5% в Калужской обл. до 35% в Псковской. Это свидетельствует об отличающейся степени взаимодействия между славянским и финно-угорским/балтским населением в разных частях восточноевропейского ареала русских. Из проанализированных нами образцов Y-хромосомы лишь в псковской и поморской (этнографической группы русского населения Архангельской обл.) популяциях частота гаплогруппы N3 оказалась сопоставимой с той, что характеризует финно-угров и балтов [12].

Примечательно, что более тонкими исследованиями полиморфизма Y-хромосомы можно различить две группы в N3 — «балтскую» и «финно-угорскую» [13]. Нам удалось это сделать по результатам анализа 12 STR-локусов\*\*, которые эволюционируют с более высокой скоростью, чем упомянутые биаллельные SNP-локусы. Оказалось, что высокая частота гаплогруппы N3 в псковской популяции обусловлена преимущественно «балтскими» вариантами Y-хромосомы (их доля составляет 64%). В генофондах русского населения центральных и южных областей европейской части России преобладают (в среднем до 80%) N3-варианты Y-хромосомы, характерные для финно-угорского населения Восточной Европы.

Итак, у славянских народов набор маркеров в ДНК Y-хромосомы сходен. Но, что важно, существующие отличия славян от соседей (германцев на западе Европы; греков, албанцев и итальянцев на юге; финно-угорского населения на востоке Европы) по Y-хромосоме гораздо заметнее, чем по линиям мтДНК [10, 12].

\*\* STR-(Short Tandem Repeats — короткие тандемные повторы)-локусы — это относительно короткие (до 6 пар нуклеотидов) участки ДНК, расположенные в молекуле в виде блоков из повторяющихся последовательностей. Иначе STR-локусы называют микросателлитными последовательностями ДНК.

\* SNP (Single Nucleotide Polymorphism — однонуклеотидный полиморфизм)-локусы — это участки ДНК, которые отличаются один от другого единичной нуклеотидной заменой, например: GTAC и GCAC.



## Дифференциация родительских линий ДНК

Наиболее информативен для исследований судьбы этносов анализ генетической дифференциации популяций по данным об изменчивости мтДНК и Y-хромосомы. Результаты такого рода анализа позволяют составить представление о том, как распространялись материнские и отцовские линии ДНК в процессе экспансии народов. Хороший пример в этом отношении — русские, освоившие за последние почти полторы тысячи лет обширные пространства Евразии.

Мы изучили мтДНК и Y-хромосомы в 10 популяциях русского населения Восточной Европы: от Ставропольского края на юге до Псковской обл. на севере и от Орловской обл. на западе до Нижегородской на востоке. Кроме собственных результатов, мы привлекли в анализ данные о поморской, костромской, ростовской и курской популяциям, полученные другими научными коллективами.

В итоге выяснилось, что по отцовским линиям русское население отличается в значительно большей степени, чем по материнским. Так, коэффициенты дифференциации  $F_{st}^*$  Y-хромосомы составляют 3.1%, в то время как мтДНК — лишь 0.42%, т.е. различаются почти на порядок. Примечательно в этих коэффициентах еще одно: по Y-хромосоме у русских они существенно ниже, чем в Европе в целом (там их величина достигает 7.04%), а по митохондриальным линиям не отличаются (0.42% и 0.41%).

Хотя в популяциях русского населения различия в распределении материнских линий ДНК не очень высоки, статистическим анализом нам удалось вы-

явить две ветви — юго-западную и северо-восточную. Каждая из них образует кластер с другими европейскими популяциями. Так, юго-западная ветвь мтДНК входит в кластер материнских линий, свойственных народам Центральной Европы, — как западнославянским (например, полякам), так и балтским (литовцам), а также некоторым финно-угорским (эстонцам). Северо-восточная ветвь мтДНК русских проявляет сходство с мтДНК финно-угорских и других народов Восточной Европы (финнов, карелов, марийцев, татар, адыгейцев).

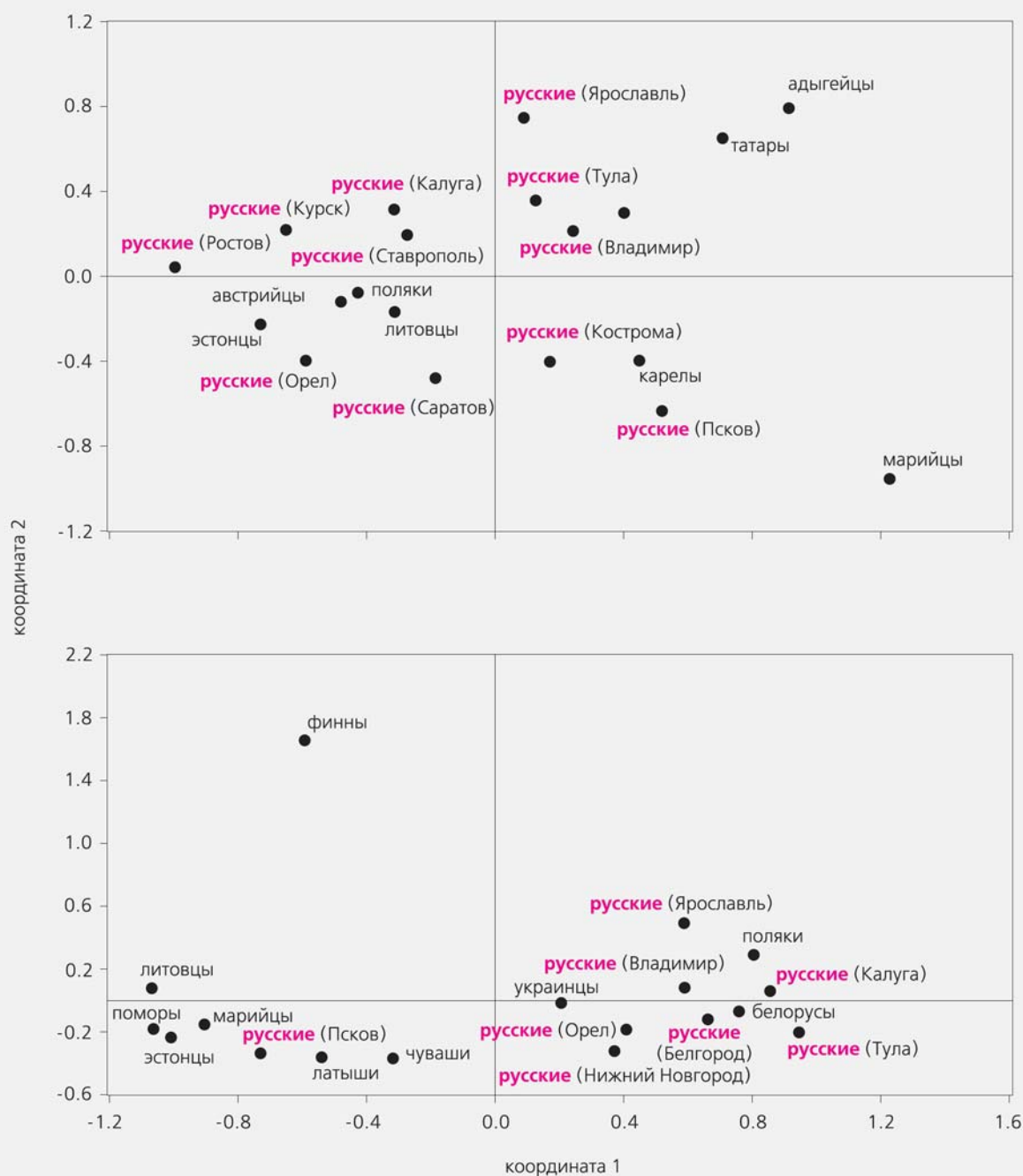
Результаты анализа  $F_{st}$ -дистанций, полученных на основании полиморфизма биаллельных локусов Y-хромосомы, также свидетельствуют о гетерогенности русских популяций. Однако картины дифференциации по мтДНК и Y-хромосоме не совпадают. В сравнительном анализе использовались литературные данные [10] об изменчивости Y-хромосомы украинцев, белорусов, литовцев, латышей, эстонцев, финнов, марийцев и чувашей, т.е. соседних с русскими этнических групп. Собственные сведения о полиморфизме Y-хромосомы русского населения в Восточной Европе мы дополнили также данными об изменчивости этой хромосомы у поморов [14]. Из анализа всей совокупности ее характеристик следует, что лишь псковская и поморская популяции проявляют выраженное сходство с финно-угорскими и балтскими народами Северной и Восточной Европы. Подавляющее же большинство русских популяций по особенностям генетических структур образуют единый кластер вместе с такими славянскими народами, как поляки, украинцы и белорусы. У всех у них высока частота группы R1a, а группа N3 встречается с умеренной или даже низкой частотой. Эти же группы Y-хромосомы в псковской и поморской популяциях встречаются в обратной пропорции

(как у финно-угорских и балтских народов): частота N3 повышена, а R1a — понижена.

Таким образом, результаты комбинированного анализа позволяют заключить, что в русских популяциях центральноевропейский генетический компонент как материнского, так и отцовского происхождения выражен по-разному. Этот компонент преобладает лишь в южной и западной частях восточноевропейского ареала русских. В центре и на востоке ареала начинают доминировать восточноевропейские линии мтДНК. И только в некоторых популяциях северной части ареала русских комбинация линий мтДНК и Y-хромосомы та же, что у финно-угорского населения. Выявленная картина генетической дифференциации современных русских, по-видимому, отражает процессы, обусловленные межэтническим взаимодействием в ходе формирования русского народа начиная с эпохи средневековья.

Итак, мы выяснили молекулярно-генетическую структуру русского генофонда, правда, пока лишь в считанном количестве популяций. В целом она согласуется с результатами картографического анализа антропологических данных, ставшими основой гипотезы об истории формирования русского народа. Судя по всему, лишь на западе этнической территории русские представляют собой генетических потомков славян, в центральной части русский этнос сформировался за счет смешения славян и дославянского финно-угорского населения, а на востоке и в северной части ареала произошло только замещение дославянских языков и культуры славянскими [5]. Между тем молекулярно-генетические данные позволили глубже понять причины наблюдаемых генетических и антропологических различий. Исходя из распределения линий мтДНК и Y-хромосомы в русских попу-

\*  $F_{st}$  — это коэффициент локальной генетической дифференциации, мера генетической подразделенности популяции и одновременно эквивалент инбридинга субпопуляции (S) относительно всей популяции (T).



Расположение европейских популяций в пространстве двух координат. «Карты» построены на основании результатов многомерного шкалирования (одного из методов многомерной статистики) межпопуляционных  $F_{ST}$ -дистанций по данным об изменчивости мтДНК (вверху) и Y-хромосомы. Для анализа использованы также литературные данные [10, 19, 20]. Видно, что по мтДНК русские, живущие в разных областях, не очень значительно отличаются друг от друга, но все же разделяются на юго-западную и северо-восточную зоны. В первой, кроме русских, оказываются некоторые народы из западных славян (поляки), балтов (литовцы) и финно-угров (эстонцы). Во вторую зону вместе с русскими популяциями попадают несколько финно-угорских народов, а также татары и адыгейцы. Расположение популяций по Y-хромосоме отражает своеобразие их мужского генофонда, определяемого, главным образом, высокой частотой группы N3 (61%) и очень низкой (10%) — R1a. Если сравнить обе «карты», становятся очевидными генетические различия между генофондами популяций по мтДНК и Y-хромосоме. Особенно это касается финнов: в первом случае они располагаются среди русских Ярославской, Владимирской и Тульской областей, а по Y-хромосоме занимают обособленное положение [10].

ляциях, становится очевидным, что наблюдаемая «трехзональная» картина их дифференциации обусловлена различным участием мужчин и женщин в освоении восточноевропейских территорий. По всей видимости, лишь начальный этап колонизации осуществлялся как мужчинами, так и женщинами (видимо, племенными группами, родами, семьями), а более поздние — преимущественно мужчинами, которые женились на аборигенках.

\* \* \*

Полученная в нашей работе картина генетической дифференциации русского населения Восточной Европы нуждается, конечно, в уточнениях. В связи с этим нужно изучить в дальнейшем изменчивость мтДНК и Y-хромосомы в тех русских популяциях, которые еще не охвачены такими исследованиями. Кроме того, необходимо узнать, каким было генетическое разнообразие древнего восточноевропейского населения в разные периоды его истории, начиная от дославянского.

Как показывают результаты анализа ДНК, генетическая преемственность между древними и современными народами соблюдается отнюдь не всегда, ведь одни народы могли сменяться другими. Например, генофонды неолитического и нынешнего населения Прибайкалья имеют мало общего [15]. На возможную смену этносов в некоторых европейских регионах — Тоскании (Италия) и Стране басков (Испания) — указывают результаты генетических исследований древнего и современного населения [16]. Более того, уже имеются примеры существенных противоречий между наблюдаемыми и ожидаемыми распределениями маркеров мтДНК в палеопопуляциях. Так, у неолитического населения Страны басков не обнаружена митохондриальная группа V. А ведь именно ей придается большое значение, когда, основываясь на распределении групп мтДНК у современных европейцев, моделируют процесс последнего заселения Европы выходцами из пиренейского «убежища» [17].

Выявлено и еще одно серьезное несоответствие. У неолитического населения Центральной Европы, ведущего происхождение от «первых европейских фермеров» (носителей перднеазиатской технологии агрокультуры), митохондриальная группа N1a встречается с неожиданно высокой частотой. Современным же европейцам эта группа практически не свойственна и потому никак нельзя было предсказать ее высокую распространенность среди неолитического населения [18].

Приведенные примеры показывают, насколько важна проверка этноисторических моделей, если выявленное генетическое разнообразие современных народов переносится в их прошлое. Выходит, экстраполяции не всегда надежны. Каким был генофонд далеких предков, безошибочно можно судить по результатам исследований ДНК непосредственно древнего населения. И такой анализ вполне возможен, ведь археологами найдено множество останков неолитического времени, пригодных для выделения ДНК. ■

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 00-06-80448, 03-04-48162).**

## Литература

1. Алексеева Т.И., Алексеев В.П. Антропология о происхождении славян // Природа. 1989. №1. С.60—69.
2. Ключевский В.О. Сочинения: В 9 т. Т. I. Курс русской истории. Ч.I. М., 1987.
3. Алексеева Т.И. Этногенез восточных славян (по данным антропологии). М., 1973.
4. Янин В.Л., Алешковский М.Х. // История СССР. 1971. №2. С.32—61.
5. Рычков Ю.Г., Балановская Е.В. // Вопр. антропол. 1988. Вып.80. С.3—37.
6. Деренко М.В., Малярчук Б.А. Генетическая история коренного населения Северной Азии // Природа. 2002. №10. С.69—76.
7. Malyarchuk B.A., Grzybowski T., Derenko M.V. et al. // Ann. Hum. Genet. 2002. V.66. P.261—283.
8. Malyarchuk B.A., Grzybowski T., Derenko M.V. et al. // Ann. Hum. Genet. 2003. V.67. P.412—425.
9. Малярчук Б.А. // Генетика. 2001. Т.37. №12. С.1705—1712.
10. Rosser Z.H., Zerjal T., Hurler M. et al. // Am. J. Hum. Genet. 2000. V.67. P.1526—1543.
11. Behar D.M., Thomas M.G., Skorecki R. et al. // Am. J. Hum. Genet. 2003. V.73. P.768—779.
12. Malyarchuk B., Derenko M., Grzybowski T. et al. // Hum. Biol. 2004. V.76. P.877—900.
13. Zerjal T., Beckman L., Beckman G. et al. // Mol. Biol. Evol. 2001. V.18. P.1077—1087.
14. Wells R.S., Yuldashbeva N., Ruzibakiev R. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2001. V.98. P.10244—10249.
15. Moorer K.P., Schurr T.G., Bamforth F.J. et al. // Am. J. Phys. Anthropol. 2006. V.129. P.349—361.
16. Alzualde A., Izaguirre N., Alonso S. et al. // Ann. Hum. Genet. 2005. V.69. P.665—679.
17. Torroni A., Bandelt H.-J., D'Urbano L. et al. // Am. J. Hum. Genet. 1998. V.62. P.1137—1152.
18. Haak W., Forster P., Bramanti B. et al. // Science. 2005. V.310. P.1016—1018.
19. Orekhov V., Poltoraus A., Zivotovsky L.A. et al. // FEBS Letters. 1999. V.445. P.197—201.
20. Richards M., Macaulay V., Hickey E. et al. // Am. J. Hum. Genet. 2000. V.67. P.1251—1276.



## Охрана природы

### Перелетных птиц становится все меньше

Королевское общество защиты птиц (Великобритания) и международная организация «Bird Life» сообщают, что перелетных птиц в небе Африки и Европы стало значительно меньше, а некоторые виды уже исчезли. Всестороннее изучение накопленных с 1970 г. материалов по зимующим и перелетным птицам Европы показало, что это касается более 60 видов.

Вероятнее всего, столь бедственное положение объясняется изменениями окружающей среды в Африке, которые вызваны засухами, расширением площадей под сельскохозяйственную деятельность, использованием пестицидов, опустыниванием территорий. Ситуация усугубляется тем, что в последнее время из-за более раннего прихода весны в Европе период обилия насекомых не совпадает со временем появления птенцов, что приводит к их гибели.

Специалисты призывают Европейский Союз принять срочные меры по защите птиц в соответствии с Конвенцией об охране мигрирующих видов диких животных.

Science et Vie. 2006. №1067. P.30 (Франция).

## Вулканология

### Новый тип вулканизма

«Малое пятно» («Petit spot») — такое название дано новому типу вулканизма, который открыла группа исследователей под руководством Н.Хирано (N.Hirano; Токийский технологический институт, Япония). Речь идет о подводных кратерах, находящихся на глубине 6000 м и удаленных на 800 км к востоку от побережья Японских о-вов. Какими-либо признаками вулканической активности

эта океанская впадина ранее не была отмечена, однако между 2003 и 2005 г. там обнаружены микровулканы, возраст которых оценивается в 8 млн лет. Вероятнее всего, они возникли в результате магматических излияний на поверхность дна океана.

Согласно теории тектоники плит, твердая земная кора (литосфера) перемещается по пластичному слою — астеносфере. Однако в тех случаях, когда вязкая магма астеносферы доходит до состояния плавления, она изливается через трещины в океанической коре и порождает вулканизм «малого пятна».

До настоящего времени были известны три крупных типа вулканизма: аккреционный, когда магма изливается при раздвижении двух плит (как, например, в Исландии); субдукционный, когда одна плита проскальзывает под другую (как в Андах), и вулканизм горячей точки, когда магма поднимается с больших глубин (например, о.Реюньон).

Science et Vie. 2006. №1069. P.32 (Франция).

## Химия

### Косметика Древней Греции

Рецепт, найденный в одном греко-римском документе, свидетельствует: с античных времен греки использовали для окраски седых волос в черный цвет косметические средства, изготавливаемые на основе свинца. Химики Центра исследований и реставрации музеев Франции и исследовательская лаборатория фирмы «L'Oréal Recherche», крайне заинтересованные одной удивительной прописью, которая содержится в записях знаменитого греческого врача К.Галена (II в. н.э.), провели химические анализы и установили, что греки принимали во внимание токсичность этого металла.

Французские исследователи сообщают, что около 2000 лет назад древние греки стали красить волосы смесью из оксида свинца (PbO), гашеной извести (Ca(OH)<sub>2</sub>) и воды. Анализы, проведенные на фармацевтическом факультете Шатне-Малабри (департамент Верхняя Сена) на искусственной коже, показали, что свинец из античной смеси диффундирует из волос очень слабо, в допустимых для здоровья пределах.

Ограничение высвобождения свинца, как оказалось, связано с тем, что кератин (основной белок волос) ставит заслон проникновению металла, способствуя образованию нанокристаллов свинцового блеска (сернистого свинца). Методом электронной микроскопии установлено, что рост нанокристаллов PbS внутри волос во время их окрашивания обусловлен надмолекулярной структурой белка. Анализ позволил понять, как это происходит.

Sciences et Avenir. 2006. №718. P.20 (Франция).

## Экология

### «Инвентаризация» острова

На о.Эспириту-Санто (о-ва Новые Гебриды, юго-западная часть Тихого океана), принадлежащий государству Вануату, недавно высадили «десант» из 160 ученых — представителей 25 стран мира. Они намерены провести биологическую и этнографическую описи этого небольшого острова (по площади равного примерно половине о.Корсика). Планируется детально изучить самые богатые и одновременно самые уязвимые его экосистемы — коралловые рифы и тропические леса. Для этого будут соответственно использоваться океанографический корабль и специальный летательный аппа-

рат, позволяющий исследовать верхнюю часть крон деревьев. Спелеологи исследуют пещеры, этнографы — взаимоотношения местных жителей (их около 3 тыс.) с природной средой.

Организатор этой широко-масштабной работы, океанограф Ф.Буше (Ph.Bouchet; Национальный музей естественной истории, Франция), полагает, что на острове можно найти множество новых эндемичных видов, половину которых составляют беспозвоночные.

Sciences et Avenir. 2006. №714. P.32 (Франция).

### Охрана природы

#### Красная книга пополняется

Несмотря на все принимаемые меры, Красная книга Международного союза охраны природы и в 2006 г. пополнилась видами растений и животных, оказавшимися под угрозой исчезновения. К настоящему времени таковых насчитывается уже 16 125. К ним относятся треть видов амфибий, четверть хвойных деревьев, восьмая часть птиц, четверть млекопитающих; и, главное, этот список нельзя считать исчерпывающим.

По оценкам, на планете существует 16 млн видов, но из-за больших трудностей в изучении бактерий, водорослей, грибов и микрофауны почв сведения по ним очень скудны. (Между тем для функционирования экосистем эти группы очень важны!) Из всего этого огромного разнообразия известно 1.8 млн видов, а изучено до степени, позволяющей решить вопрос о занесении в Красную книгу, лишь 40 162.

По заключению специалистов Международного союза охраны природы, 99% видов, находящихся под угрозой исчезновения, оказались в бедственном положении в результате

антропогенного воздействия. Главные причины вымирания — утрата и деградация традиционных ареалов обитания, увеличение доли вселенцев, охота и рыбная ловля без каких-либо ограничений, а также изменения климата.

Terre Sauvage. 2006. №218. P.52 (Франция).

### Подводная археология

#### Обнаружен королевский фрегат Людовика XIV

После восьми лет подводных археологических работ французские археологи М.Л'Ур и Э.Вейра (M.L'Hour, E.Veyrat) обнаружили обломки и предметы вооружения королевского фрегата «Дофин», пролежавшие на дне 302 года у входа в порт Сен-Мало (Франция). Эти археологи широко известны своими масштабными археологическими исследованиями в морях Китая, Мозамбикском проливе и недавно найденными фрагментами корабля «Лаперуз» у о.Ваникоро (Тихий океан).

«Дофин», который был доверен Людовиком XIV Мишелю Дюбокажу — моряку-корсару из Гавра, — открыл островок Клипертон в Тихом океане. 11 декабря 1704 г. фрегат во время бури был выброшен на скалы у берега Сен-Мало. Якорь и пушка «Дофина», поднятые с глубины 17 м, станут экспонатами Музея морской истории в Сен-Мало.

Sciences et Avenir. 2006. №715. P.21 (Франция).

### Археология. Палеоэпидемиология

#### Венецианские чумные захоронения

Совместная франко-итальянская археологическая экспедиция, работая на о.Санта Мариа ди Назарет, расположенном в Венецианской лагуне, об-



Противочумный защитный костюм, использовавшийся в Венеции XVIII в. (по гравюре П.Фёрста).

наружила 80 могильных рвов и более 2000 скелетов, относящихся к периоду между 1348 и 1630 гг. (даты первой и последней эпидемий чумы в городе Дожей). На протяжении трех веков Лазарет Веккио на о.Санта Мариа служил для изоляции заболевших чумой. М.Сигноли, антрополог и специалист по изучению «погребений катастроф» (M.Signoli; Национальный центр научных исследований, Франция), считает, что обнаруженные останки принадлежат лишь части жертв, вызванных прошедшими в Европе чумными волнами.

Эти многотысячные погребения позволяют специалистам не только исследовать демографическую структуру населения (возраст, пол), но также определить, какая именно форма чумы свирепствовала во время венецианских эпидемий (бубонная, легочная или септическая).

В наше время Всемирная организация здравоохранения ежегодно регистрирует 3000 случаев заболевания чумой.

Sciences et Avenir. 2006. №716. P.25 (Франция).

# Эволюция мифозоев

О.М.Иванова-Казас,  
доктор биологических наук  
Санкт-Петербург

Эволюционным изменениям, как известно, подвержены все живые организмы. Внешне это выражается в появлении и накоплении каких-то новых морфологических признаков. Возникновение этих признаков у мифозоев (от греч. *μυθος* — миф, сказание, предание и *ζῷον* — животное) мы уже пытались объяснить исходя из тех скудных сведений об их индивидуальном развитии, которые содержатся в самой мифологии [1]. Самые причудливые из мифозоев обычно возникают в результате волшебных превращений или рождаются уже в законченном виде, и об их предыстории ничего неизвестно. Однако если сравнить мифологемы, относящиеся к разным эпохам, то в облике действующих в них персонажей иногда можно заметить значительные различия. Так как сами мифозои созданы человеческим воображением, то и причины возникновения этих различий следует искать в психологии человека — в стремлении сделать свои создания более впечатляющими (вызывающими сочувствие и восхищение или, наоборот, устрашающими и отталкивающими). Поэтому неудивительно, что между биологической и мифологической эволюцией немало значительных различий.

Биологическая эволюция осуществляется в ряду сменяющих друг друга поколений и поэтому тесно связана с процессами размножения, а в ее основе лежат наследственность, изменчивость и естественный отбор, уничтожающий все неудачные нежизнеспособные варианты.

Направление эволюции определяет борьба за существование, заставляющая животных и растения приспосабливаться к различным конкретным условиям среды их обитания. Однако эти азбучные истины не были известны древним мифотворцам. В мире мифологических существ явно преобладает изменчивость, и от любой пары родителей может произойти самое неожиданное потомство [2]. Наследственность же проявляется лишь в исключительных случаях (пример — рождение Минотавра от союза женщины с быком), а роль отбора выполняет все та же человеческая фантазия. А это означает, что важный фактор мифологической эволюции — изменения в мировоззрении людей и смена религиозных представлений, влияющих на психологический и морфологический облик мифозоев.

Мифологическая эволюция бывает похожа на биологическую лишь в тех случаях, когда какой-то вид мифозоев представлен большим количеством способных к самовоспроизведению особей. Иногда же эволюционным изменениям подвергаются мифозои, представленные только одним экземпляром (например, Сцилла), и тогда эволюция больше напоминает индивидуальное развитие.

Пока удалось выяснить эволюционную историю сравнительно немногих мифозоев, и все же попытаемся обрисовать основные направления мифологической эволюции, подкрепив это наиболее яркими примерами.

\* \* \*

Первоначально персонажи мифов и сказок, по-видимому,

ничем не отличались от обычных людей и животных, а свои фантастические особенности они приобрели позднее. Первые морфологические отклонения от нормы у мифозоев выражаются в изменении их размеров или количества органов (голов, конечностей и т.д.). Птица Рухх из арабских сказок, например, могла унести в своих когтях несколько слонов, а в древнегреческой мифологии известны 100-глазый Аргус и одноглазые циклопы. К слову, увеличение или уменьшение числа гомологичных органов (*полимеризация* или *олигомеризация*) происходят и в биологической эволюции. Но в природе более распространена олигомеризация (важный показатель прогрессивной эволюции), а в мифологии преобладает полимеризация. Очевидно, в древности полагали, что усиление какой-то функции легче всего достичь увеличением числа соответствующих органов — действительно, победить многоголового дракона гораздо труднее, чем одноголового [3]. У мифозоев часто изменено и взаимное расположение органов (*гетеротопия*), приводящее к изменению типа симметрии — важнейшего элемента плана строения [4].

Безусловно, все упомянутые морфологические изменения — значительные отклонения от нормы, тем не менее они не затрагивают видовую принадлежность животных, и таких организмов следует относить к *тератозоям* (от греч. *τέρατος* — уродство и *ζῷον* — животное). У многих же мифозоев некоторые органы «заимствованы» у животного другого вида. Клас-

Древнегреческий фактуметамиф





Трехглавая химера. Этруская бронза из Ареццо (Италия), начало IV в. до н.э. Археологический музей, Флоренция.

сический пример тому — хорошо всем известная Химера (от греч. χίμαιρα — коза). Судя по названию, это нелепое существо изначально было просто козой, и остается только гадать, как и почему у нее появились еще головы льва (спереди) и змеи (на кончике хвоста). Химера стала именем нарицательным для обозначения других мифозоев, тело которых содержит органы разных видов животных, а их эволюционное превращение можно назвать *химеризацией*.

В одних случаях чужеродные органы могут быть дополнением, или *аддицией*, к изначальной организации животного (например, птичьи крылья у Пегаса), в других — подменной, или *субституцией*, соответствующего органа исходного животного (например, голова птицы, зверя или крокодила у многих египетских богов). Дальнейший прогресс эволюции некоторых мифозоев был направлен в сторону увеличения числа видов комбинирующихся животных. Соответственно различаются химеры двойные, тройные и т.д.

Следует, однако, заметить, что не все химеры представляют собой такое же бессмысленное соединение разнородных частей, как у классической Химеры; составляющие их части нередко имеют определенный символический смысл. Так, на-

пример, грифон (лев с головой и крыльями орла), соединяя в себе «царя зверей» и «царя птиц», олицетворяет могущество на земле и на небе, а иногда служит посредником между двумя мирами — Землей и Небом.

Химеры весьма разнообразны, в их образование вовлечено 28 видов млекопитающих, семь видов птиц (а также птиц без указания вида), пять видов рептилий, жаба, лягушка, рыбы, семь видов членистоногих, а иногда даже растения. Кроме того, примерно 70% химер содержат части тела человека. Такие *миксантропные* химеры возникают в результате *зооморфизации* (грубо говоря, озверения) человека или *антропоморфизации* (очеловечивания) животного.

Антропоморфизация, по-видимому, связана с периодом в истории религиозных представлений, когда животных обожествляли (*зоолатрия*). Некоторые из них считали первопредками и духами-покровителями различных племен или просто богами [5]. Одновременно люди приписывали этим животным черты собственной психологии, и потому антропоморфизация чаще всего начиналась

с головы. Зооморфизация же происходила, когда человек становился злодеем или колдуном.

Обсудив основные направления мифологической эволюции, приступим к рассмотрению конкретных примеров.

\* \* \*

**Сцилла** (или **Скилла**) — чудовище, впервые описанное Гомером в «Одиссее» (XII в. — VIII в. до н.э.). Жила она на берегу узкого морского пролива в пещере, где скрывала заднюю часть своего тела, спереди же у нее было шесть собачьих голов на длинных шеях и шесть пар собачьих ног. Питалась Сцилла дельфинами, тюленями и другими морскими животными, а когда мимо проплывали корабли, собаки хватили и людей. Таким образом, Гомерово Сцилла — это собака с полимеризованной головой и передними конечностями, что скорее напоминало целую свору собак.

Однако в «Метаморфозах» Овидия (43 г. до н.э. — 18 г. н.э.) Сцилла выглядит совсем иначе. По мнению Овидия, сначала она была прекрасной девушкой, которую злая волшебница Цирцея (Кирка) из ревности превратила в чудовище. Только



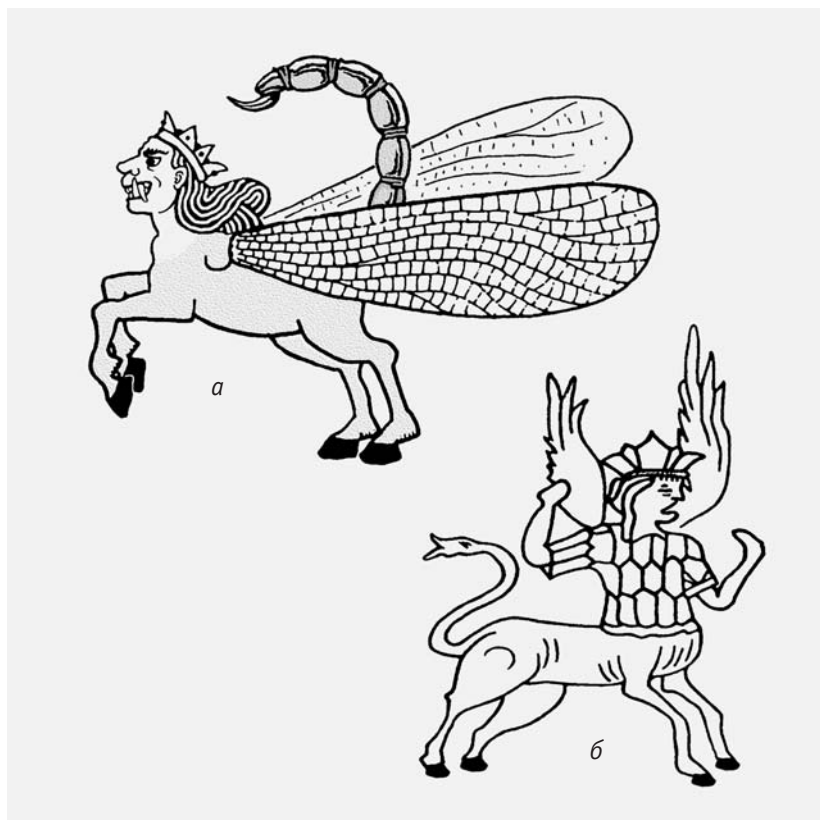
Сцилла.

Рисунок автора

верхняя половина тела осталась у бедняжки человеческой, задняя же стала змеиной, а в области пояса или таза отходили передние части шести собак. Таким образом, за десять веков, отделяющих Овидия от Гомера, Сцилла испытала антропоморфизацию (приобрела женский торс) и превратилась из тератозоона в тройную химеру. Но, к сожалению, мы не знаем, сам ли Овидий сочинил эту мифологему или образ Сциллы изменялся постепенно, передаваясь из уст в уста.

**Саранча**, впервые упомянутая в библейском Ветхом Завете [6] в натуральном виде, впоследствии претерпела удивительную и скачкообразную (без промежуточных стадий) трансформацию. Когда Моисей решил вывести евреев из египетского рабства, а фараон воспрепятствовал этому, Бог стал насылать на Египет различные бедствия, получившие название казней египетских (только после десятой казни фараон вынужден был отпустить евреев). Восьмой казнью было нашествие обыкновенной саранчи, которая уничтожила все посевы и обрекла людей на голод (при этом она действовала в полном соответствии со своей природой).

Снова в роли кары небесной, но совсем в ином виде предстала саранча в Апокалипсисе (Откровении) Иоанну Богослову — как предупреждение о грядущем наказании грешников. Она будет послана не уничтожать посевы, а терзать самих людей. В «Откровении» по виду своему она «была подобна коням, приготовленным на войну; и на голове у ней как бы венцы, похожие на золотые, лица же у ней — как лица человеческие; и волосы у ней — как волосы женщины, а зубы у ней были, как у львов; на ней были брони, как бы брони железные, а шум от крыльев ее — как стук от колесниц, когда множество коней бежит на войну; у ней были хвосты, как у скорпионов. И в хвостах ее были жала; власть же ее



Апокалиптическая саранча: а — изображение, сделанное автором по описанию Иоанна Богослова, б — миниатюра XVI в. [9].

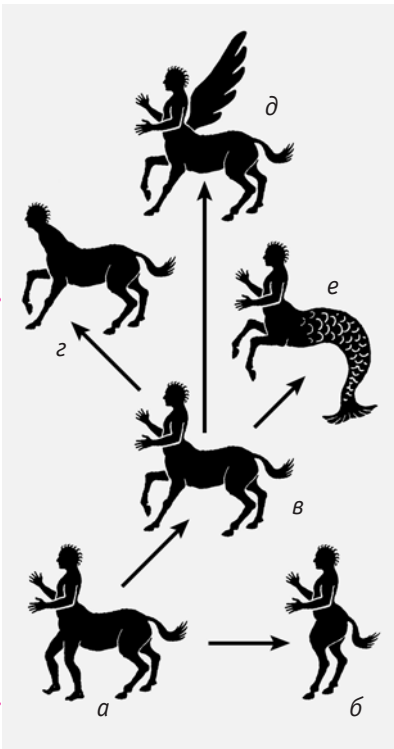
была — вредить людям пять месяцев». Ужаленные саранчой люди будут ужасно страдать, и молить о смерти, но смерть не придет к ним.

По-видимому, Иоанн Богослов не специально придумал эту химеру, она спонтанно возникла в его подсознании. Но составные части этой саранчи собраны неслучайно. От простой саранчи взяты только крылья, необходимые для массированных налетов, от скорпиона — жало, главное орудие наказания, от человека — голова (проявление антропоморфизации), которая должна различать праведников и грешников, а закованное в броню тело лошади с боевой колесницей того времени.

Однако образ апокалиптической саранчи, проникший в Европу вместе с христианством, сильно изменился. Судя по всему, Иоанн Богослов (обитатель

Малой Азии) имел некоторое представление об обыкновенной саранче и скорпионах, а средневековые европейцы о них были очень слабо осведомлены. Так, у саранчи вместо ее крыльев появились птичьи, а жало скорпиона заменила голова змеи, т.е. произошла двойная субституция, обусловленная сменой «экологической» (ментальной) обстановки.

**Кентавр**, согласно классической легенде, впервые родился от союза царя лапифов Иксиона и богини облаков Нефелы, но потом появилось много кентавров (предполагается, что их сексуальными партнершами были кобылы). Но современные ученые полагают, что прообразом кентавров послужили почти не слезавшие с лошадей кочевники в Фессалии, поразившие воображение греков, которые во времена Гомера еще не умели ездить верхом.



Эволюция кентавров:  
 а — примитивный кентавр,  
 б — онокентавр, в — типичный кентавр, г — лошадь с головой человека, д — птерокентавр, е — ихтиокентавр.

Рисунок автора



Сатир и нимфа [10].

Судя по старинным изображениям, некогда существовало много разновидностей кентавров, так что можно представить себе их эволюцию, в которой большую роль сыграла зооморфизация. Примитивным кентавром считается человек, к тазу которого сзади присоединен круп лошади с задними ногами [7]. Зачем понадобилось такое новоприобретение, почему оно произошло, неясно, так как ничего, кроме неудобств, оно не дало. Тем не менее, поскольку в этой химере человек представлен целиком, а лошадь — лишь частично, можно заключить, что исходной стадией эволюции кентавров был именно человек.

В дальнейшей эволюции человеческое тело сократилось до верхней половины, и получился так называемый **онокентавр**. Эта фигура немного более гармонична, но самый удачный вариант представлен **типичным кентавром**, у которого человеческий торс соединен с полным корпусом лошади. Это существо обладает разумной головой человека и человеческими руками, способными к сложным манипуляциям, и в то же время может быстро преодолевать большие расстояния. Если верить мифологии, именно такие кентавры были представлены в Древней Греции целыми стадами. Дальнейшая зооморфизация привела к тому, что от человека осталась только голова, но с биологической точки зрения утрата человеческих рук — это уже регресс.

Однако на этом эволюция кентавров не заканчивается, а только меняет направление — к телу типичного кентавра присоединяются крылья и получается **птерокентавр**, а у **ихтиокентавров** задняя половина лошади замещается (субституция) рыбьим хвостом. В результате этих изменений кентавры переходят в категорию тройных химер.

Не менее интересна эволюция европейских **чертей**. Еще

у древних греков был бог лесов, полей, стад и плодоносных сил природы **Пан**. Он любил играть на свирели и танцевать с нимфами. Очень похожи на Пана были похотливые **сатиры**, составлявшие свиту Диониса. Сначала Пана представляли себе козлом, но потом он стал выше пояса человеком (но с рогами на голове), а ниже пояса остался козлом [5]. Так же изображали сатиров.

После того, как язычество было вытеснено христианством, многих мифозоев стали причислять к нечистой силе, и сатиры превратились в чертей. Хотя черты могут приобретать вид любого животного или человека, но преобладающим стал облик козлоногого сатира. Впрочем, образ черта сильно варьирует. На Украине у чертей вместо лица появилось свиное рыло (субституция). Иногда дальнейшая антропоморфизация сочеталась с приобретением новых зооморфных признаков. На миниатюре XVI в. изображен черт — четверная химера — с головой и телом человека, рогами и хвостом козла, кры-



Черт, держащий душу человека [11].





Искушение св. Антония. Гравюра на меди М.Шонгауэра, 1471—1473.

льями летучей мыши и птичьими лапами вместо ладоней и ступней. Средневековые создали благоприятную почву для видообразования чертей. Художники изошрялись, изображая самых нелепых и фантастических бесов, в роде тех, которые терзают св. Антония на гравюре М.Шонгауэра. С другой стороны, Мефистофель — черт высокого ранга (который у Гёте запросто беседует даже с Господом Богом) — имеет вид весьма импозантного мужчины, а о его низменном происхождении свидетельствуют только козлиная борода и раздвоенное копыто на одной ноге. Но к состоянию обыкновенного козла черти не

вернулись — очевидно, мифологическая эволюция так же необратима, как биологическая, и возврат к исходному состоянию невозможен.

**Ангелы** также относятся к мифозоям. Эти добрые духи, посланники Бога, составляющие его свиту и воинство, упомянуты уже в Ветхом Завете [6]. Они сопровождали Бога, когда он явился Аврааму и сообщил ему, что у него родится сын Исаак, от которого произойдут многие народы. Потом они посетили Лота и предупредили его о предстоящей гибели Содома и Гоморры, причем Лоту пришлось защищать их от посягательств содомских гомосексуа-



Херувим.

Рисунок автора

листов. Ангелы посещали землю и по собственной инициативе, пленившись красотой «дочерей человеческих», т.е. смертных женщин, которые породили потом поколение особенно сильных и красивых людей. В видении Иакова ангелы спускались с Неба и поднимались на него по лестнице. Во всех этих случаях они внешне не отличались от людей. Птичьи крылья у них появились позднее (начало зооморфизации), но это не сделало их страшными и звероподобными; художники изображали ангелов с красивыми юношескими, женственными лицами.

Затем богословы разработали иерархию из девяти ангельских чинов. На нижних ступенях этой иерархии находились рядовые ангелы и **архангелы**, имевшие только одну пару крыльев, а на высших — **серафимы** и **херувимы**. У серафимов было уже три пары крыльев, из которых одна служила для полета, вторая закрывала лицо, а третья — ноги. Зооморфизация до-



стигла апогея у херувимов. Имя «херувим» впервые упоминается в Библии в связи с изгнанием Адама и Евы из Рая — херувим с огненным мечом был поставлен, чтобы преградить им путь к Древу Жизни, плоды которого давали бессмертие. Затем, когда Моисей получил от Бога скрижали с десятью заповедями, для хранения которых был построен специальный ковчег, на золотой крышке последнего были изображены два херувима, причем из лаконичного библейского текста известно, что у этих херувимов были человеческие лица и крылья. А подробное описание внешнего вида этих ангелов дано в книге пророка Иезекииля, написанной в V в. до н.э. Иезекиилю привиделось какое-то облако, «а из середины его видно было подобие четырех животных», имевших облик, как у людей, но они имели по четыре лица (человека и льва справа, орла и тельца слева) и четыре крыла, два из которых смыкались сверху друг с другом, а два других покрывали тело. Под этими крыльями находились человеческие руки, а вместо ступней у них были бычьи копыта (иначе говоря, херувимы были четверными химерами). Кроме того, перед лицами херувимов находились четыре колеса из топаза, в которых содержался дух этих странных существ. «И все тело их, и спина их, и руки их и крылья, и колеса кругом были

полны очей — все четыре колеса» [6]. Считается, что головы херувимов имеют следующее символическое значение: человеческая символизирует разум, львиная — силу, орлиная — небесное парение, а голова тельца — жертвенность (позднее эти головы стали символами евангелистов — Матфея, Марка, Иоанна и Луки).

Но к концу 2-го тысячелетия религиозные представления стали более рациональными и менее образными, а многие церковные термины приобрели новое более прозаическое, бытовое значение. И хотя ангелы по своей природе существа мужского пола, слово «ангел» стало эталоном женской красоты (царица Тамара у Лермонтова была «прекрасна, как ангел небесный»), а зооморфные признаки херувимов стали забываться. В четырехтомном «Толковом словаре русского языка» [8] о херувиме сказано только, что это ангел высшего чина и что так называются вербные игрушки — куклы с крылышками; но дается также специальное объяснение слова «херувимчик» — ласкательное название пухлого румяного маленького ребенка. Вот как теперь унижен и опошлен облик одного из ангелов самого высокого ранга.

Изменения внешнего облика херувимов можно сравнить со сменой возрастных состояний человека. Древо Жизни охраняет совершенно антропоморф-

ный молодец с мечом, ко времени получения скрижалей у херувимов появились крылья, Иезекиилю они явились в полном расцвете, достигнув максимальной сложности и величия, затем херувимы как бы уходят со сцены и начинается период их деградации (старения), а в XX в. они и вовсе впадают в детство — превращаются в херувимчиков.

\* \* \*

Я надеюсь, что приведенных примеров достаточно, чтобы убедить читателя в существовании мифологической эволюции и дать представление о ее закономерностях. Хотя причиной эволюции мифозоев служит не борьба за существование, а изменения в мировоззрении и психологическом настрое людей, многие эволюционные преобразования в морфологии реальных животных (полимеризация и олигомеризация гомологичных органов, изменения типа симметрии и т.д.) наблюдаются и у мифозоев. Но для мифологической эволюции характерны резкое преобладание изменчивости над наследственностью и тенденция к химерообразованию, приводящая к возникновению нелепых нежизнеспособных существ. Это стало возможным из-за того, что место естественного отбора занимает человеческая фантазия, часто нарушающая законы природы. ■

## Литература

1. Иванова-Казас О.М. Страна Мифляндия, или Индивидуальное развитие мифозоев // Природа. 2006. №4. С.44—48.
2. Иванова-Казас О.М. Страна Мифляндия, или Размножение мифозоев // Природа. 2004. №4. С.49—54.
3. Иванова-Казас О.М. Страна Мифляндия, или Полимеризация органов у Mythozoa // Химия и жизнь. 2003. №7—8. С.72—75.
4. Иванова-Казас О.М. Страна Мифляндия, или Типы симметрии у Mythozoa // Природа. 2002. №4. С.17—24.
5. Соколова З.П. Культ животных в религиях. М., 1972.
6. Библия. М., 1991.
7. Римский-Корсаков А.П. Химеры // Андрей Петрович Римский-Корсаков. СПб., 1997. С.52—60.
8. Толковый словарь русского языка / Ред. Д.Н.Ушаков. М., 1935—1940.
9. Чернецов. Древнерусские изображения кентавров.
10. Беляев Ю.А. 100 чудовищ Древнего Мира. М., 1997.
11. Энциклопедия сверхъестественных существ. М., 1997.

# Химия: дорога к славе

М.М.Левицкий,

кандидат химических наук

Институт элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН  
Москва

*Слава — товар невыгодный, стоит дорого, сохраняется плохо.*

Оноре де Бальзак

Нет ничего плохого в том, что кто-то, приступая к исследованиям, сразу планирует стать знаменитым: жажда славы — хороший стимул. Впрочем, одного желания мало, полезно знать, какие пути ведут к признанию. Предостережем тех, кто рассчитывает на быстрый успех и, как следствие, на разные преимущества и удобства. Для химика, например, путь к вершинам славы не самый короткий, куда скорее можно добиться ее в шоу-бизнесе, спорте или политике. Зато на игровом химическом поле нет жесткой конкуренции и бескомпромиссной борьбы с противником. Свобода для творчества здесь исключительная, и кажется, что дорог к славе необычайно много. Нужно только выбрать кратчайшую.

Как это сделать? Может, существуют какие-то секреты или специальные приемы? Для химика особых тайн нет, попробуйте последовать крупным предшественникам — они стали популярными благодаря своим научным трудам.

## Нужно публиковаться

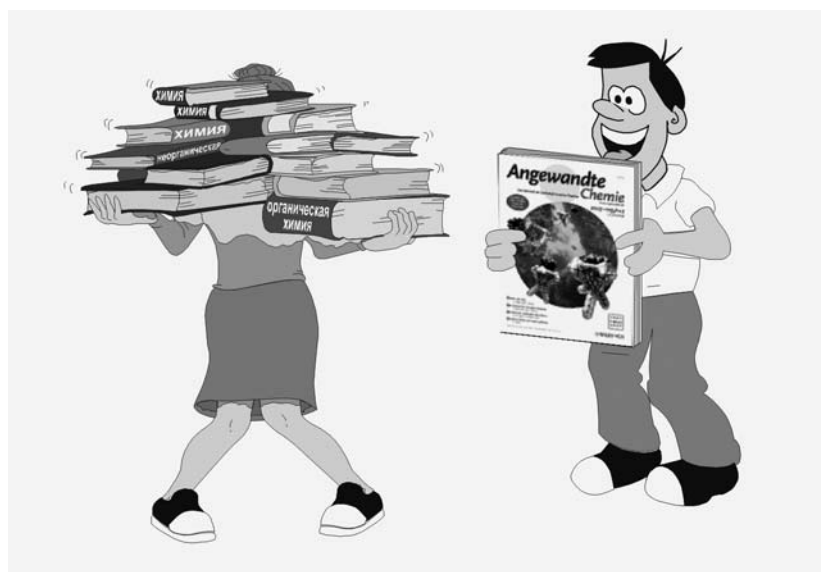
Если вы провели исследование и опубликовали его результаты в научном журнале, можно считать, что ваше имя вошло в историю химии. (Все научные журналы хранятся в специализированных библиотеках со свободным доступом. Ни один

из них не устаревает и не исчезает из фондов хранения. В библиотеках некоторых институтов можно и сейчас найти номера «Журнала физико-химического общества», изданные в 80-е годы позапрошлого столетия.) Ваше имя будет упомянуто не однажды: в оглавлении, в списке авторов данного номера, в авторском перечне последнего за текущий год номера. Когда журнал с вашим научным трудом поступит в редакции реферативных журналов (отечественных и зарубежных), в них появится краткое содержание вашей статьи, а значит, и ваше имя. Наконец, его приведут и в сводном авторском указателе. В итоге всего одной публикации вы будете упомянуты не менее пяти раз.

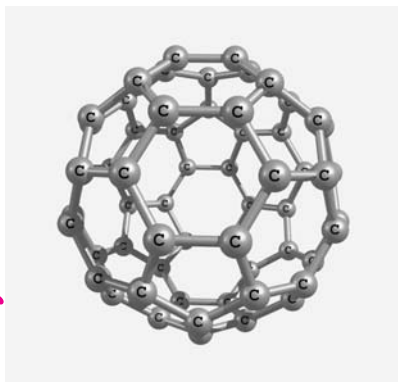
На этом первом шаге к вершине важно выбрать самый престижный журнал. На сегодня су-

ществует больше 150 журналов, которые охватывают все области химии. Уровень значимости этих периодических изданий разный, среди них существует определенная иерархия. Так же, как в мире музыки популярность компакт-диска оценивается спросом покупателей, уровень журнала определяется частотой цитирования статьи в публикациях других изданий. Широко известная количественная величина, характеризующая популярность журнала, — индекс цитирования (Impact Factor).

В числе химических журнальных лидеров — «Angewandte Chemie International Edition» и «Journal of the American Chemical Society». В них, как правило, появляются публикации о результатах самых интересных новых исследований. В эти журналы и нужно стремиться, но



© Левицкий М.М., 2007



придется пройти предварительное и довольно придирчивое рецензирование.

Индексы цитирования отечественных журналов заметно ниже. Может, наши исследователи публикуют результаты, которые ни для кого не представляют интереса? Вовсе нет. В них тоже есть замечательные работы, однако нерусскоязычные химики смогут ознакомиться с ними с некоторым запозданием из-за траты времени, необходимого для перевода на английский язык. А могут и совсем не узнать. Например, в статье российских ученых Д.А.Бочвара и Е.Н.Гальперн, опубликованной в 1973 г. в «Докладах Академии наук СССР», авторы описали гипотетическую молекулу  $C_{60}$ , предложив ее форму в виде 60-вершинного многогранника. Но статья осталась незамеченной, а такое соединение в 1985 г. получили Ф.Кёрл, Г.Крото и Р.Смолли и назвали его фуллереном. В 1996 г. за это открытие им была присуждена Нобелевская премия.

Итак, если вам удалось опубликоваться в авторитетном журнале (в том числе и в отечественном), считайте, что добились заметного успеха. Импакт-фактор существует не только у журналов, но и у отдельных статей и отражает частоту ссылок других авторов на ваше творение. Показатель этот искусственно увеличить фактически невозможно. Если вы начнете в последующих работах ссылаться на свое предыдущее исследование, ничего не изменится — при вычислении импакт-фактора само-

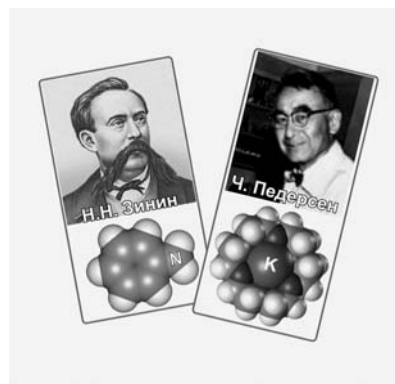
цитирование не учитывается. Но ведь надо же знать, двигаясь к славе, на какой ступени к ней вы находитесь. Можно сказать, специально для этого существует персональный индекс цитирования (Citation Index), который указывает, сколь часто другие авторы ссылаются на ваши «замечательные» работы. Так вы поймете, каков уровень вашей собственной значимости.

Но успех далеко не всегда определяется количеством опубликованных работ: Николай Николаевич Зинин стал известен благодаря лишь одной публикации. В «Бюллетене Академии наук» в 1848 г. он описал способ получения анилина из нитробензола восстановлением сероводородом (некоторые почему-то думают, что водородом). Примеры широкой популярности, пришедшей к автору одной или двух публикаций, существуют и в наши дни. Статья Ч.Педерсена, опубликованная в «The Journal of Physical Chemistry» в 1980 г., вызвала шквал цитирования. Эта 20-страничная публикация, из которой, как считали коллеги, можно было бы «нашлепать» десятки статей, привела к появлению нового класса соединений — краун-эфиров, а автор в 1987 г. был удостоен Нобелевской премии.

Естественно, что популярность такого типа ограничена кругом профессионалов, работающих в той же области, что и прославившийся автор. Но до широкой известности пока далеко. Впрочем, можно пойти другими путями.

### Повысить индекс цитирования

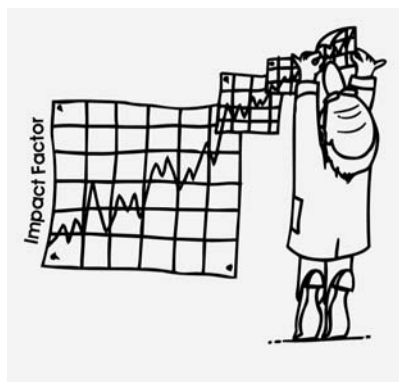
Оригинальный способ для этого нашла группа химиков-теоретиков, которые создали очень удобный и весьма популярный сейчас программный продукт «Gaussian». С его помощью химик-синтетик может проводить вполне профессиональные квантово-химические



расчеты. Если вы воспользуетесь этой программой, чтобы вычислить энергию образования молекулы, термодинамические функции или вид колебательного спектра, то получите результат в виде специального файла. В его начале содержится убедительная просьба процитировать имена авторов программы при публикации результатов. Просьба вполне естественна, несколько неожиданным оказывается количество авторов программы — их 58! Большинство химиков добросовестно цитируют этот внушительный список. Впрочем, у некоторых закрадывается сомнение — не шутка ли это (не сама программа, а просьба о цитировании). Ведь истинное признание уже получено: замыкающий список Дж.Попл в 1998 г. стал лауреатом Нобелевской премии за разработку вычислительных методов квантовой химии. Если остальные 57 авторов тоже жаждут признания (что вполне естественно), то вариант выбран неудачный: их слишком много, и слава неизбежно «разбавится».

Гораздо правильнее поступил Г.М.Шелдрик, который, судя по всему, в одиночку создал программный комплекс SHELXTL PLUS, позволяющий расшифровывать результаты рентгеноструктурного анализа. Поскольку опубликованных структур с использованием этой программы очень много, индекс цитирования у Шелдрика гигантский.

Добиться высокого индекса цитирования можно публикацией научного обзора в одном из



специально для этого предназначенных журналах. Их индекс цитирования всегда выше, чем у обычных журналов. Надумав воспользоваться таким приемом для повышения своего рейтинга, полезно вспомнить, что по-настоящему хорошие обзоры, как правило, выходят из-под пера тех, у кого за спиной солидный опыт экспериментальной работы по теме обзора. Впрочем, можно приступить к новому направлению, начав именно с обзора, руководствуясь негласным правилом: «хочешь хорошо разобратся в теме, напиши обзор!».

Достичь большого признания можно и без всяких научных изысканий — просто основать премию своего имени. Тогда оно будет упоминаться гораздо чаще, чем имена соискателей и лауреатов этой премии. Интересно, что такая возможность теоретически была у Николая Николаевича Зинина. В 50-х годах позапрошлого столетия он вместе с В.Ф.Петрушевским работал над созданием взрывчатой композиции на основе нитроглицерина, безопасной при транспортировке. В итоге был найден хороший вариант — пропитка нитроглицерином карбоната магния. Об этих поисках Николай Николаевич неоднократно рассказывал своему знакомому — Альфреду Нобелю — и, в сущности, подсказал ему идею динамита. Не будем, однако, преуменьшать заслуг знаменитого основателя Нобелевских премий, поскольку ему потребовалось не только создать динамит, но и проявить

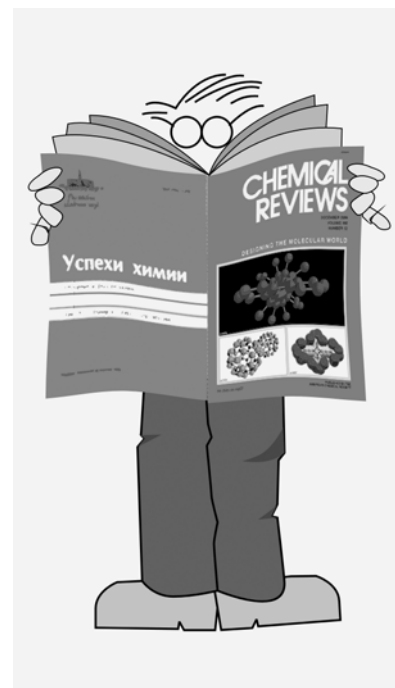
коммерческую жилку, организовать производство, накопить солидный капитал, чтобы создать фонд для премий.

### Книга лучше индекса

Следующий шаг по лестнице славы происходит у всех на виду и кажется простым и естественным. Если ваши исследования действительно представляют собой заметный вклад в науку, ваше имя станет известным широкому кругу химиков. Тогда любой автор при написании учебного курса или солидной монографии неизбежно вас упомянет. Появление вашего имени в книге — уже весьма солидное признание.

Вот тут-то и открывается еще один путь к славе — самому написать книгу. Некоторые наиболее удачные монографии многократно переиздаются, а имена их создателей стоят в одном ряду с крупными исследователями. Иногда это одно и то же лицо.

На следующую ступень признания вы взойдете тогда, когда ваше имя появится в именном указателе химической энциклопедии. В этом перечне не более 20% из упомянутых в нем ученых удостоились такой чести при жизни. Однако истинная слава вас найдет лишь в том случае, когда ваше имя из именного указателя переместится в предметный. Способы достижения такого результата хорошо известны: следует открыть соединение или реакцию, которые будут названы вашим именем. В органической химии больше тысячи именных реакций (например, Вюрца, Фриделя—Крафтса, Чичибабина и др.). Надо только, чтобы ваша фамилия не была очень распространенной, иначе она будет упоминаться множество раз, но понять, где именно ваша, станет затруднительным. В существующем списке именных реакций 19 раз упоминается фамилия Фишер, между тем как они открыты шестью разными химиками. Значит, на каждо-



го Фишера придется только шестая часть славы. Может, потому с 50-х годов именные реакции перестали появляться? Вместо них возникают такие трудно произносимые термины, как дисмутация, контрдиспропорционирование, кросс-сочетание, метатезис и т. д. Впрочем, если вам удастся найти действительно выдающуюся реакцию, современники наверняка присвоят ей ваше имя, невзирая на современные тенденции.







# А кто самый большой?

## Минералогическая сказка

Р.К.Расцветаева,  
доктор геолого-минералогических наук  
Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН  
Москва

### От автора

Человек состоит из клеток, а кристалл из ячеек. Размеры ячеек столь малы, что для них используется специальная единица измерения «ангстрем» ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$ ). Между ячейками нет перегородок, но атомы не переходят из одной ячейки в другую и соблюдают порядок чередования в трех направлениях (как говорят ученые, кристалл находится в состоянии решетки). И хотя в одном минерале все ячейки абсолютно одинаковы, в разных минералах они различны по форме, величине и содержанию атомов. От чего зависит размер ячеек, вы можете узнать из этой сказки.

### Пролог

У дороги лежал камень. Он лежал тут так давно, что никто не знал, откуда он взялся. Сам камень смутно припоминал, что когда-то он жил высоко в горах под самым небом. Однажды земля заколебалась и ушла у него из-под ног. Он потерял равновесие, покатился вниз, да так и остался лежать у подножия горы. Со временем камень покрылся глубокими морщинами и оброс серым мхом, но внутри него минералы по-прежнему жили своей минеральной жизнью: одни из них дряхлели и рассыпались, другие нарождались и росли. И хотя минералы жили в одном отдельно взятом камне, они не чувствова-

ли себя в изоляции и не теряли связи с остальным миром. Ведь вокруг них столько воды — и на земле, и под землей, и в воздухе. А вода, как известно, вбирает информацию, запоминает ее и передает дальше. Не зря австралийские аборигены издавна пользовались ручьями и речками как телефоном. Один австралиец безошибочно расшифровывал сообщение, которое несколькими километрами выше по течению «заложил» в воду другой. А может, минералы научились пользоваться торсионными полями, которые люди еще только начинают изучать?

Камень много повидал на своем веку (вернее, на своих веках). Когда-то путники останавливались возле него передохнуть, укрыться от ветра. Однако времена меняются, и теперь все спешат и проносятся мимо на автомобилях. Но однажды пришел человек и устало прислонился к камню. Уже засыпая, он услышал внутри шорохи. Путник был ученым и понимал язык минералов. Позже он рассказал об удивительной истории, которую ему довелось подслушать.

### Серия первая

Сначала минералы делились впечатлениями о только что прошедшем конкурсе красоты\*. Им понравилось, что победителем стал каждый (кому ж не понравится?). Но дух соперниче-

ства не остыл, и всем хотелось посоревноваться еще. Мудрый кварц, судивший предыдущий конкурс, заявил, что устраивать соревнования дело хлопотное и дорогостоящее (одна аренда пещеры чего стоит!). Лучше провести заочную конференцию, например на тему «Кто самый большой?». Тогда каждый сможет, не сходя с места, высказаться и быть услышанным.

Поначалу все казалось просто. Минералы принялись измеряться и строго следили, чтобы никто не приписал себе лишние миллиметров. Потом поняли безнадежность этого занятия, т.к. им всем было далеко до кварца. Его кристаллы бывают выше человеческого роста. Правда, сейчас кварц выглядел невыигрышно — какие-то мелкие бесформенные зерна. Да и многие обитатели камня были куда как крупнее, а пока катились сверху, пообломали себе ребра, а иные и вовсе рассыпались на кусочки.

Кварц предложил выбрать другой критерий — внутренний, который не зависит от условий жизни: с чем родился — с тем и пребудешь во веки веков, даже если жизнь сотрет тебя в порошок. «Понял, — воскликнул догадливый **пироксен**, — я самый большой, у меня внутри длинная-преддлинная цепочка». «Ну, уж извини, — загалдели **пироксеноиды**, — наши цепочки ничуть не короче». «А у нас еще и пошире будут», — отозвались **амфиболы**. Тут и **слюды** вмешались, потому что их слои, а значит и цепочки, из которых они состоят, бесконечны в двух

© Расцветаева Р.К., 2007

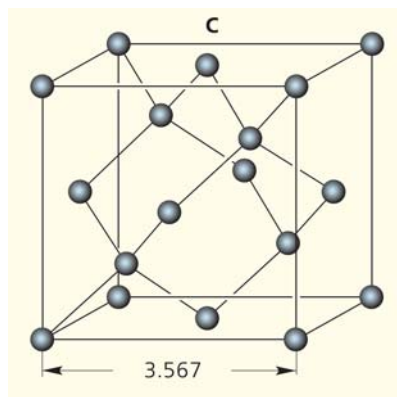
\* См.: Расцветаева Р.К. Конкурс красоты // Природа. 2005. №4. С.26—32.

направлениях. А кварц снова оказался самым большим — его каркас бесконечен аж в трех направлениях. С какой стороны на него ни посмотришь — конца и края не видать кремнекислородным цепочкам.

Нет, этот критерий, хоть и внутренний, явно не годился. Но там внутри больше ничего нет. Все выжидательно посмотрели на кварц. И он заговорил. «Наша внутренняя суть порой не видна, но она определяет все наши возможности. Ячейка — вот наша главная суть. Кто познал свою ячейку, тот познал и весь кристалл. Ни один ученый не может открыть новый минерал, не изучив его ячейки. Люди считают, что “семья — ячейка общества”. Но какая же это ячейка, если во всем мире нет и двух одинаковых семей? Другое дело — минералы, в каждом из нас ячейки одинаковы как две капли воды. Конечно, все они хороши по-своему, но тот, у кого ячейка большая, тот и сам великан».

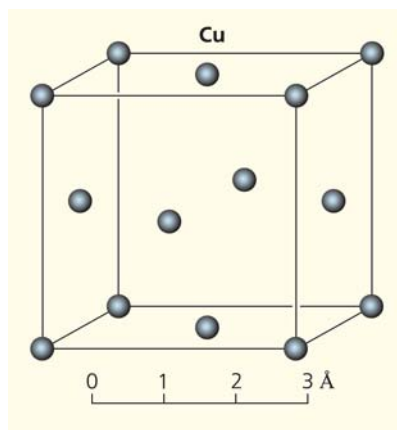
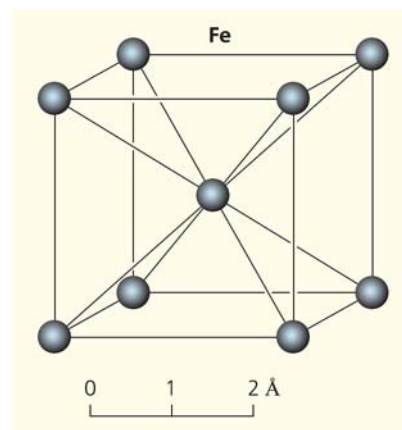
### Серия вторая

Тут все стали заглядывать внутрь к себе и к соседям, ревниво сравнивая свои ячейки. Очень скоро выяснилось, что как раз у пироксена-то ячейка невелика, а вдоль цепочки и всего-то 5 Å. У пироксеноидов ячейки оказались подлиннее — у кого в два раза, а у некоторых и в три-четыре: чем безобразней цепочка, тем больше ячейка. «Ну и где же

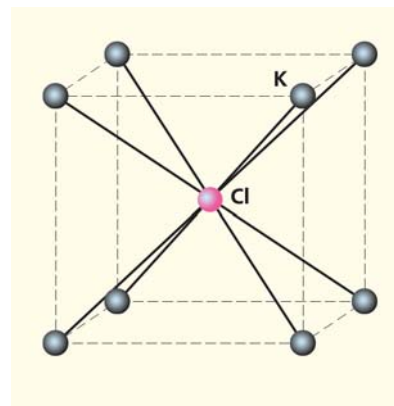
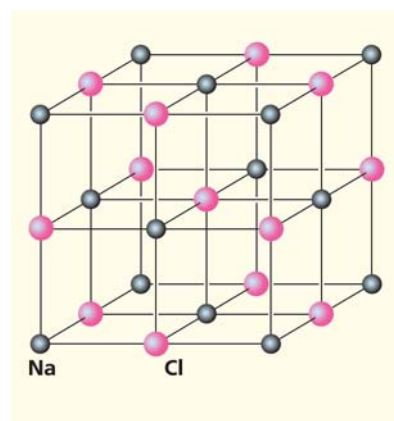


справедливость?» — обиделся пироксен и отошел в сторонку. Одно утешение, что у некоторых ячейки еще меньше. У самого железного минерала, который так и называется **железо**, ячейка в длину едва дотягивает до 3 Å, а у самого блестящего в мире минерала **алмаза** она чуть больше 3.5 Å.

Да и у самого кварца размеры ненамного больше — 5×5×5 Å. Конечно, железу, алмазу и прочим холостякам много места не надо. Ячейки кубические: где стены, а где пол или потолок — не разберешь. Так что живи, как хочешь, никто тебе слова не скажет. Комфортнее всего в центре ячейки, но на стенах зато интереснее, можно видеть, что делается у соседей. На пороге вроде бы неуютно, но зато обзор еще больше — вид на все четыре стороны. Ну, а в углу и подавно все восемь ячеек под наблюдением. Одинокой старушке, такой как **медь**, жить в такой ячейке очень удобно. И есть чем заняться.



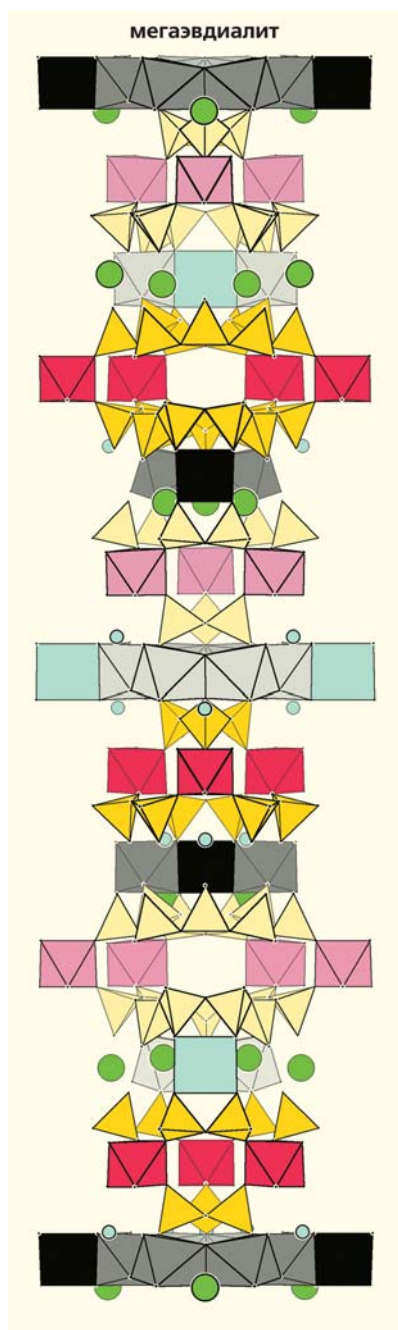
Но если какой-нибудь Ромео встретит свою Джульетту, и их любовь будет взаимной и закончится счастливым законным браком, то ячейка им понадобится попросторнее. Вот как в **галиите**, где проживает натрий со своей подружкой хлор, ячейка почти 6 Å (5.6×5.6×5.6), а в **сильвине**, где поселился крупный калий со своей не менее крупной супругой хлор, ячейка еще больше — 6.3×6.3×6.3 Å. Хлоры, конечно, же заняли центральное место не только в жизни натрия и калия, но и в их ячейках.



### Серия третья

Чтобы расширить свою жилплощадь, вовсе не обязательно жениться. Можно, к примеру, пригласить на постой родственников, друзей или просто знакомых. Взять хотя бы **эвдиалит**. Постоянных жильцов всего-то кремний, цирконий и кислород, а во дворце перебивала чуть ли не треть таблицы Менделеева.





И каждому нашлось место в просторной ячейке  $14 \times 14 \times 30 \text{ \AA}^*$ . А если еще нагрянут гости, в эвдиалите быстренько делают евроремонт, и соседние ячейки объединяют в одну длинную — аж  $61 \text{ \AA}$ . И во всю ее длину идут два коридора с удобствами — гидроксильными умывальниками и ваннами (ОН-группами

\* См. *Расцветаева Р.К.* Царь Эвдиалит и его династия // Природа. 2001. №4. С.63—67.

и молекулами воды, по-научному), а по сторонам располагаются комнаты разной формы и величины — на все вкусы и любой недостаток. Пустующих номеров здесь не бывает, как в хорошей и недорогой гостинице. Эвдиалит по праву может называться «минерал-гостиница» номер один. Гостиничный бизнес особенно процветает у его родственника **аллуйвита**. А недавно к нему присоединились и другие мегаэвдиалиты — **лабиринтит**, **расцветаевит** и **дуалит**.

Еще проще решена проблема в титаносиликатных слюдах. Здесь и евроремонт не делают, а просто раздвигают стены. Если туристов нет, толстые трехслойные стенки сдвигаются, и минерал складывается в компактный **сейдозерит** с толщиной ячейки  $10 \text{ \AA}$ . Как в рекламе надувного дивана гости ушли — диван сдули и спрятали в шкаф. А если гостей много, стенки раздвигаются, и ячейка увеличивается в длину до  $20 \text{ \AA}$  в **квадруфите** или до  $30 \text{ \AA}$  в **полифите** и аж до  $41 \text{ \AA}$  в **соболевите**.

### Серия четвертая

Большинство минералов ревниво оберегают порядок в своих ячейках, но если к кому-то нагрянули нежданные гости, или, напротив, хозяева отправились путешествовать, то порядок нарушается. Такие случаи выявить непросто. Ученые пытаются найти нарушителей, но это не всегда удается. Попробуй отыскать несколько неправильных ячеек среди несметного множества, похожих друг на друга как две капли воды. Да если даже в половине что-то изменилось, правильные и неправильные ячейки так перемешаны, что узнать, кто есть кто, невозможно. Хорошо еще, если кальций или натрий занимают свое законное место целиком, а то в некоторых минералах вместо натрия или кальция проживает некая «на-

ка» (Na,Ca). Средняя ячейка — это как «средняя температура по больнице» конкретно у кого какая — неизвестно. И только гастарбайтеры радуются. Когда subtilный натрий покидает страну, на его место нелегально прибывает дюжий кальций, готовый к любой работе за мизерное вознаграждение, а статистическая жизнь позволяет ему надежно прятаться от органов правопорядка.

Многие сталкиваются с проблемой нелегалов, и ячейка при этом не увеличивается. А **мурманиту** вот повезло: приезжие кальций и калий попались организованные, прошли официальную регистрацию, некоторые даже прикупили квартиры и получили постоянную прописку по новому месту жительства. Они поселились вместе с местными натриевыми жителями, но преимущественно в каждой второй ячейке, нарушая принцип идентичности. Выход из этой ситуации подсказала сама жизнь — объединили две маленькие ячейки в одну большую —  $14 \text{ \AA}$  в длину и  $10 \text{ \AA}$  в ширину. Такие ячейки называются «сверхструктурными».

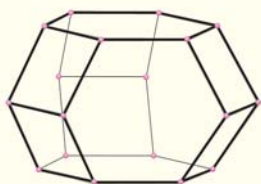
**Беталомоносовит** же пошел своим путем и создал сверхструктурную ячейку в  $14 \text{ \AA}$ , повернув фосфорные тетраэдры, которые в 7-ангстремовой ячейке **ломоносовита** ориентированы одинаково.

Но есть еще и полукриминальный способ увеличить жилплощадь. Им пользуются олигархи. Они скупают за бесценок чужие ячейки, комбинируя из них новые — большего размера. Эти махинации с обанкротившимися минералами прикрываются безобидным термином «модулярность» дескать, ничего такого, просто случайно нашли несколько подходящих ячеек и прицепили их друг к другу.

Взять, к примеру, богатое семейство канкринита-содалита. Глава семейства **канкринит** обзавелся скромной, но уютной квартиркой с невысоким потолком в  $5 \text{ \AA}$ .

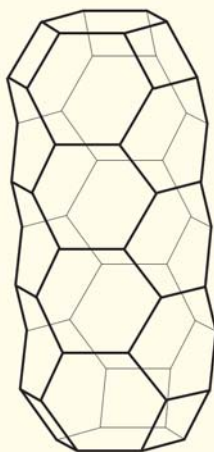


канкринит



Содалит же разжился квартиркой побольше — высотой 9 Å. Шустренький **быстрит** сообразил, что лучше не тесниться (мало ли что!) и соорудил просторную двухэтажную квартиру высотой 10 Å. Его примеру последовал и **лиоттит**, но пошел еще дальше и потратился на трехэтажный особнячок высотой 16 Å. Но всех превзошел своим размахом **джузеппеттит**. Минералу с таким именем не пристало ютиться, где попало, и он отгрохал четырехэтажный особняк высотой 21 Å.

джузеппеттит

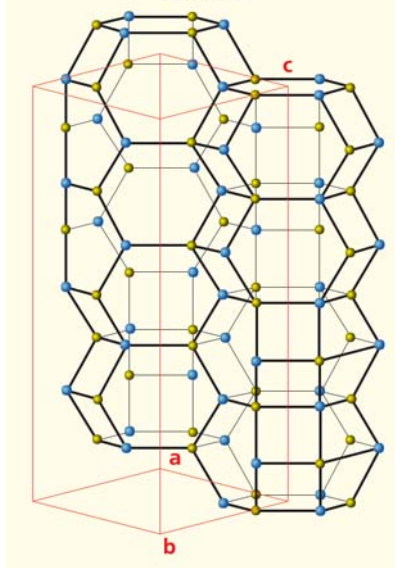


Деловой быстрит, однако, не ограничился собственными апартаментами и пристроил сбоку еще две канкринитовые квартирочки, поставив их друг на друга. А лиоттит опять превзошел своего друга и пристроил с одного бока три канкринитовые квартирочки, а с другого — одну, нарастив ее быстритовой. Джузеппеттит же снова всем утер нос. Мало того, что он два собственных особняка взгро-

моздил друг на друга и получил небоскреб высотой 42 Å, но еще соорудил сбоку башню из пяти канкринитовых и двух содалитовых помещений!

И все же приватизация чужих квартир быстритом, лиоттитом и джузеппеттитом не так возмутительна, как в случае **афганита** и его дружка **аллорита**. Они вообще ничего своего не создали, а прихватили по одной квартирке у канкринита и лиоттита, поставили их друг на друга, а сбоку пристроили башню из четырех канкринитовых квартир.

афганит



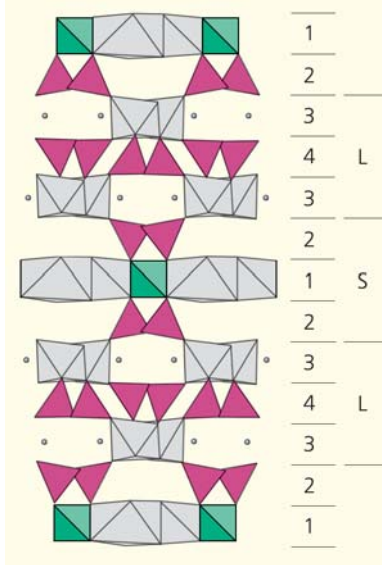
Ну, а про **францинит** с **маринеллитом** и **тункитом** и говорить не приходится. Они не постеснялись позаимствовать у своих собратьев все, что можно. Францинит взял у содалита четыре его жилплощади, у канкринита две, у быстрита одну и соорудил из них башню с пристройкой высотой 26 Å. Тункит прибрал к рукам три лиоттитовые жилплощади, одну канкринитовую и одну быстритовую. Маринеллит ограничился двумя лиоттитовыми, зато компенсировал свою скромность за счет трех канкринитовых и двух содалитовых помещений. А по высоте сооружения у тункита и маринеллита оказались одинаковыми — 32 Å.

А недавно объявился новый родственничек по имени **фарнесит**. Он приобрел только одну лиоттитовую квартиру, но зато пять канкринитовых и две содалитовых и построил свою ячейку в 37 Å, переплюнув маринеллит с тункитом, и чуть-чуть не дотянул до самого джузеппеттита.

И только скрытный **сакрофанит** хранит тайну своего небоскреба высотой 74 Å... Конечно, отцы семейства не обижаются на своих чад за их иждивенчество (дело-то житейское). Да и другие члены семейства не в претензии к родственникам.

Другое дело — любители нажиться за счет чужого добра. Особенно ловко смодулярничали (простите — смодулярничали) **виноградовит** и **линтисит**. Они позаимствовали ячейки **лоренценита** (L) и **силинаита** (S), которые не превышали в длину 14.5 Å, и построили из них свои ячейки длиной 24.5 и 28.5 Å каждая. При этом виноградовит заменил в силинаитовой ячейке весь литий на натрий, а линтисит поленился и оставил все что было — и литий, и натрий. Ну а **кукисвумит** не стал затруднять себя комбинациями этих же ячеек, а быстренько прибрал к рукам ячейку линтисита, оставил натрий,

линтисит



но заменил весь литий на более крупный цинк и тем удлинил ее на пол-ангстрема. Линтисит подал в суд на кукисвумита, но доказать ничего не смог. Ячейка вроде бы его, но в то же время и другая. Ничего не поделаешь: таковы нравы олигархов.

## Серия пятая

Минералы оживленно спорили, какой способ увеличить ячейку лучше, но кварц прервал их: «Чтобы ячейка стала просторней, не нужно заглатывать цепочки и другие длинные предметы и вовсе не обязательно присоединять чужую жил-площадь, обзаводиться большой семьей или устраивать пансион для друзей и знакомых. Есть и другие способы». И он рассказал поучительную историю.

С незапамятных времен ячейки содалита арендовал король Хлор. Он был строг и любил порядок. Ячейка хоть и невелика, но достаточно просторная, 9 Å в любую сторону. Хлор и его заместители занимали все ключевые позиции — в центре и по углам ячейки, так что под контролем была жизнь соседних ячеек тоже (восьми сразу!). Коренные жители кремний и алюминий соблюдали полный порядок: ни один кремний не оказывался по соседству со своим сородичем, и алюминий, в свою очередь, жил в окружении четырех кремниев и мог общаться исключительно с ними. Королевство содалита процве-



тало, и его дворцы широко распространились по всей земле.

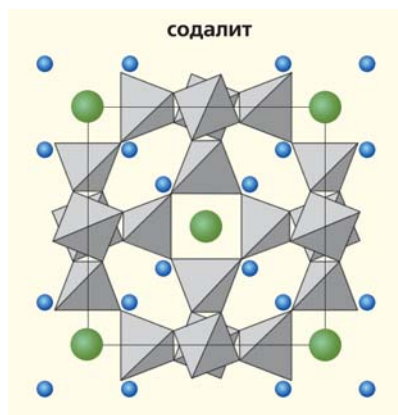
Но однажды коварная красавица сера выманила хлора со всеми его слугами на прогулку, а сама заняла его место в ячейке. Маленькая сера выглядела несolidно по сравнению с крупным и импозантным хлором. Но она не растерялась и быстренько окружила себя четырьмя кислородными слугами. И то сказать, чем она хуже кремния и тем более алюминия? Пусть маленькая, но энергичная — ее заряд 6, а у кремния только 4, не говоря уж об алюминии, который слабее ее в два раза. Дворец стал называться **нозеаном**.

Примеру серы из нозеана последовала и ее подруга. Она вселилась в другой содалитовый дворец, да не одна, а вместе с чадами и домочадцами. Деловые кальциевые домочадцы бесцеремонно потеснили subtilный натриевый народ. А чада, отказавшись от прислуги (зачем терять свободу?), рассыпались по ячейке, перепрыгивая с места на место. Уследить за ними было невозможно, поэтому ученые до сих пор их не находят, а если и находят, то сомневаются — они ли это. Серята (на языке ученых — сульфидная сера) не

только играли в прятки, но и выкрасили дворец в синий цвет, и пришлось его переименовать в **лазурит**.

Другие коварные представительницы прекрасного пола вместе с кальциевыми и калиевыми домочадцами хитростью захватили несколько содалитовых дворцов, но перекрашивать их не стали (зачем лишние хлопоты, да и некому перекрашивать — все серята поселились в лазуритовых дворцах). Такие резиденции называли **гаюиннами**.

Детишки в лазуритовом дворце освоились и разошлись не на шутку. Они заявили, что им надоели стандартные кубические ячейки с прямыми углами и одинаковыми стенками и развернули их на 45°. При этом некоторые ячейки покосились (ученые их назвали моноклинными и триклинными лазуритами). Но серят это нисколько не заботило — есть где побегать, ячейки вместо 9×9×9 Å стали 9×12×12 Å. Главные обитатели лазуритового дворца, кремний и алюминий, с трудом приспособивались к новым условиям, разворачивая свои тетраэдры то так, то эдак (ученые это называют модуляцией). Да и для самой серы новые ячейки оказались





непривычными. Она никак не могла найти себе место, ворочаясь с боку на бок. Кислородные слуги сбились с ног, не зная, как угодить сере и при этом самим не столкнуться лбами или не разбежаться слишком далеко.

А в других лазуритовых дворцах еще хуже. Судите сами. Сера, занятая собой, совсем потеряла контроль над серятами и предоставила их самим себе. А бедным сероткам только того и надо — проказничают пуще прежнего, да потешаются над неуклюжими маневрами мамыши. Серотинки подговорили всех обитателей ячейки пойти немного прогуляться. Все дружно сдвинулись в одну сторону, потом в противоположную, ничего не увидели, но вернуться на свое место уже не смогли — забыли, где именно были раньше. Ни очки, ни бинокль не помогли. С тех пор так и шарахаются из стороны в сторону в одном, а то и двух, а иногда даже в трех направлениях. Даже каркас из тетраэдров кремния и алюминия так покорежился, что его шестичленные кольца местами сплющились или, наоборот, раздулись, а то и вовсе перекрутились. Бродяжничали, бродяжничали, да и очутились как будто бы в знакомой ячейке. Поскольку между знакомой и родной ячейками оказалось 12 неправильных (где никто не был на своем месте), то все 13 ячеек пришлось объединить в одну гигантскую, длиной 180 Å. И это еще не предел. При несомерно модуляции (одномерной, двумерной или трехмерной) ячейки могут увеличиваться в сотни раз. Пока серотинушки веселятся от души, ученым не до смеха: чтобы разыскать беглецов в какой-нибудь ячейке, им приходится, как следопытам, отыскивать их следы (по-научному — сателлиты). Тут уж не обойтись без строгой науки математики с ее функциями, векторами модуляции и переселением из уютного трехмерного пространства в незнакомое четырехмерное, а то и пятишестимерное.

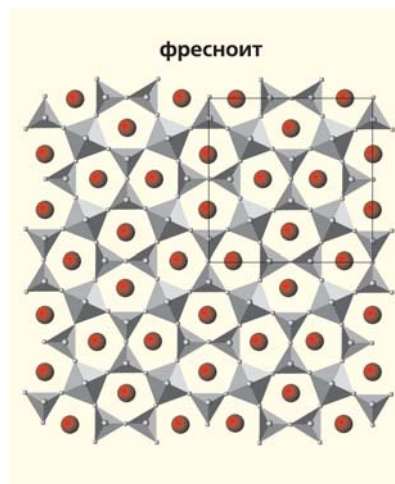
## Серия шестая

Ну, а что же наши серята, которые наломали столько дров?

Справедливости ради нужно сказать, что причина лазуритовой драмы доподлинно науке не известна. Сами серята отрицают свою причастность к метаморфозам лазуритового дворца. Но кто же им поверит? Если взрослые запутываются в своих проблемах, то всегда винят детишек (а кого же еще?). Да и как не винить, вон ведь в нозеане и гаюине, где нет никаких серят, а есть только сульфатная сера, жизнь чаще всего течет размеренно, без всяких катаклизмов. Однако в **сульфурите**, где вся сера сульфидная и ничего кроме нее нет, порядка тоже нет — восьмичленные кольца из атомов серы разбросаны в кристалле как попало.

Конечно, ученые когда-нибудь докопаются, кто устроил лазуритовую революцию (в народе ее почему-то называют «бархатной»). Так или иначе, но дух свободолюбия оказался заразительным. Вот уже во многих дворцах стали раздаваться призывы: «Долой решетки! Да здравствует свобода!». И к чему это привело? Соразмерная модуляция бария и титана у **голландита** увеличила ячейку в 5 раз (сторона ячейки возросла с 3 до 15 Å), а в **кимрите** модуляция кремния, алюминия и бария удлинила ячейку до 37 Å. Ладно, **муллит** несомерно модулирует, в нем одни кремнии да алюминии в тетраэдрах. А вот в **калаверите** проживает вполне обеспеченная семья: папаша — теллур, мамаша — чистое золото, да и сыночек — серебро. Что еще надо? Живи и радуйся. Так ведь вся семья модулирует, да еще как — несомерно аж в двух направлениях. Или взять к примеру **фресноит**.

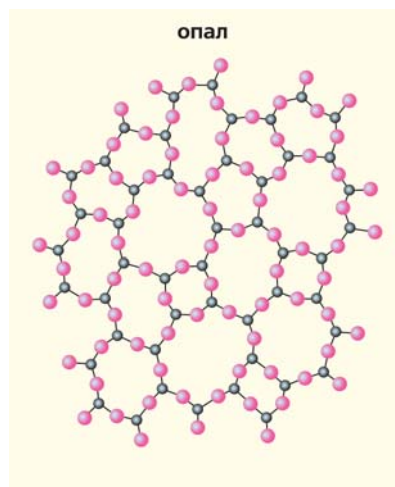
В его доме всегда был образцовый порядок, поскольку в нем нет никаких малолетних правонарушителей, а проживают основательные кремнии в тетраэдрах, уважаемые



титаны в квадратных пирамидах и солидные барии между ними. Но как только ученые заменили кремний на более крупный германий, все жители тут же замодулировали, а ячейка выросла в одном направлении в пять раз!

Модуляция, соразмерная или несомерно, усложняет жизнь минералов и ученых, но в любом случае увеличивает размеры ячейки. Одно плохо: «модуляцию» часто путают с «модулярностью», что потешает олигархов и обижает честных лазуритовых граждан.

Неисправимые романтики, которые не хотят сидеть дома, кое-где зашли особенно далеко в поисках истины и гармонии. Они объявили каждого жителя уникальным, отличным от других и свободным в своих пере-





мещениях. Главное, чтобы никто не оказался слишком близко, но и слишком далеко тоже (а не то могут появиться непрошенные гости). Новаторы украсили дворцы осями симметрии 5-го порядка и даже 10-го, которых до сих пор ни в одном минерале не было. Хотя в этих дворцах нет ни ячеек, ни дальнего порядка, но ближний соблюдается неукоснительно. Такие кристаллы ученые называют **квазикристаллами**, т.е. настоящими. (А кому, собственно, дано знать, кто в этой жизни настоящий, а кто не очень?) Сами квазикристаллы не обижаются: «квази» так «квази», спасибо, что не «крези». Гораздо обиднее, когда их путают с

«аморфными». Ведь в аморфных минералах живут анархисты, которые крушат не только ячейки и симметрию, но и любой порядок, будь то ближний или дальний. Взять хотя бы красивый с виду **опал**. Минерал состоит только из тетраэдров кремния и воды, а внутри — полная неразбериха. Хоть тетраэдры кремния и связаны всеми своими вершинками, они ведут себя так безалаберно, что в каркасе нет одинаковых полостей, поскольку они окружены то четверными кольцами, то пятерными, то шестерными, то семерными или даже восьмерными. В одних полостях вода есть, в других нет. Правда, случайно можно наткнуться на кубичес-

кий **кристобалит**, но это не меняет общей картины хаоса.

## Эпилог

Минералы проговорили всю ночь, а наутро пришли к заключению: кто бы ни стал победителем, он будет не обычным минералом, а романтиком из породы модулированных или даже «квази». И неважно, что квазикристаллы очень мелкие. Ведь и у людей бывает, что кого-то считают большим, а то и великим, хотя ростом он не вышел.

А путник с рассветом поднялся, погладил мшистый бок камня и зашагал по дороге, чему-то улыбаясь. ■

До 4000 т углерода в сутки — такое количество в конечном счете изымают из атмосферы скопления сальп (*Salpae*). Эти полупрозрачные свободноплавающие колониальные животные в ночное время питаются фитопланктоном на поверхности океана, а днем спускаются на 800-метровую глубину. Их экскременты, обогащенные органическим веществом, быстро достигают дна, не проходя процесса разложения и не высвобождая таким образом CO<sub>2</sub> в атмосферу. Оценку массы органического углерода, поступающего на дно Атлантического океана в результате жизнедеятельности сальп, дали американские биологи.

Science et Vie. 2006. №1068. P.32 (Франция).

Сенегальские колобусы (семейство мартышек), которые 30 лет находятся в зоне вырубki лесов, адаптируются к истощению своего биотопа: вместо традиционного листового корма животные питаются най-

денными на земле плодами и зернами. Такая перемена в рационе уже привела к тому, что численность популяции снизилась с 600 до 500 особей.

Science et Vie. 2006. №1065. P.23 (Франция).

Для улучшения дорожного покрытия из щебенки англичане намерены использовать отработавшие свой срок автомобильные покрышки: на 1 км дорог потребуется 250 тыс. покрышек, что представляется экономически выгодным по сравнению с довольно сложной операцией по рециклированию покрышек. Разработанная фирмой «HoldFast rubber Highway» технология уже прошла испытания и показала преимущества перед заменой асфальтом.

Science et Vie. 2006. №1067. P.30 (Франция).

Американская компания «Chevron» в середине 2006 г. объявила об открытии в Мексиканском заливе на глубине

2100 м гигантского нефтяного месторождения, запасы которого оцениваются от 3 до 15 млрд баррелей. Промышленная эксплуатация месторождения, которое позволило бы увеличить запасы углеводородов США на 5—25%, начнется, однако, не раньше чем через пять лет и потребует колоссальных инвестиций.

Sciences et Avenir. 2006. №716. P.19 (Франция).

Исследования, проведенные в Университете провинции Альберта (Эдмонтон, Канада), показали, что у американских дроздов, живущих в зонах, где отмечены высокие концентрации ДДТ, мозг аномально мал. Это сказывается на способностях птиц петь и исполнять брачные ритуалы: бедный репертуар и низкая интенсивность песен самцов не могут привлечь внимание самок из незагрязненных зон.

Science et Vie. 2006. №1068. P.33 (Франция).

Зернышко

# В ТРЕВОГЕ ЗА КОРАЛЛОВЫЕ РИФЫ

Коралловые рифы обычно представляют как живописные морские джунгли с множеством ярко окрашенных рыб и других обитателей тропических и субтропических морей. В конце прошлого века внезапное повышение температуры морской воды вызвало массовую гибель этих коралловых колоний, на возрождение которых уйдет не одно десятилетие. Еще больше времени требуется для восстановления менее известных и не столь красочных, но также густо населенных сообществ кораллов и губок, обитающих на больших глубинах Мирового океана в основном в умеренных широтах. Причина их гибели — огромные донные тралы, которые тянут за собой рыболовные суда. О том, как начали восстанавливаться мелководные коралловые рифы и что нужно делать, чтобы не допустить вымирания глубоководных коралловых сообществ, рассказывают специалисты, обеспокоенные судьбой этих уникальных экосистем.

## Мальдивские рифы после катастрофы

Р.Кикингер

*Биологическая станция о.Курамати  
Мальдивская Республика*

А.Н.Островский,

*доктор биологических наук*

*Санкт-Петербургский государственный университет*

В 1998 г. коралловые рифы планеты перенесли один из самых драматических моментов: повышение температуры морской воды привело к гибели коралловых колоний на огромных площадях по всему миру\*. Мальдивские рифы оказались в числе тех, что пострадали сильнее всего.

В течение апреля-мая 1998 г. температура воды в этом районе Индийского океана находилась на отметке 30°C, достигая

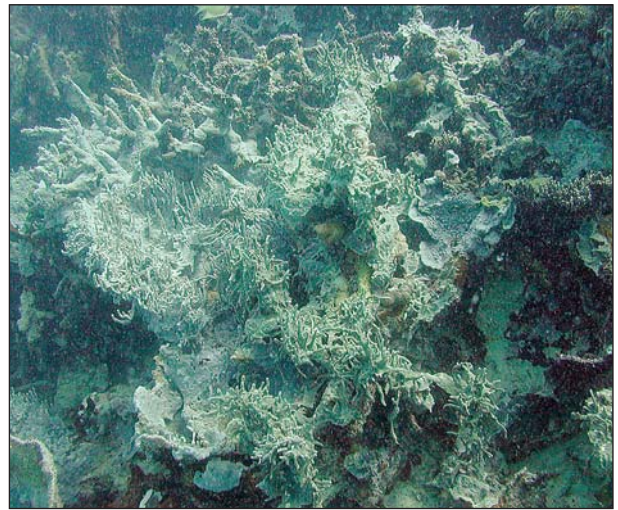
иногда 32°C. Температурный шок вызвал гибель живущих в тканях полипов одноклеточных водорослей — зооксантелл, которые не только окрашивают колонии коралловых полипов, но и обеспечивают их питательными веществами и даже «помогают» им строить скелеты. В настоящее время разрушение этой симбиотической системы рассматривается в качестве основной причины общего ослабления кораллов, снижения их устойчивости к патогенам, загрязнению (в том числе механическими осадками) и эвтрофикации. Так или иначе, по приблизительным оценкам во

многих мелководных районах Мальдивов во время катастрофы 1998 г. погибло до 95% всех колоний. Подводные райские сады превратились в заброшенные кладбища. Особенно серьезно пострадали рифы на глубинах до 15 м, на больших глубинах кораллы находятся в лучшем состоянии.

Естественно, гибель кораллов отразилась на численности их разнообразных обитателей (рыб, моллюсков, ракообразных и др.), а неприглядный вид рифов — на посещаемости Мальдивских о-вов туристами. Однако несмотря на то, что и эффективность рыболовного

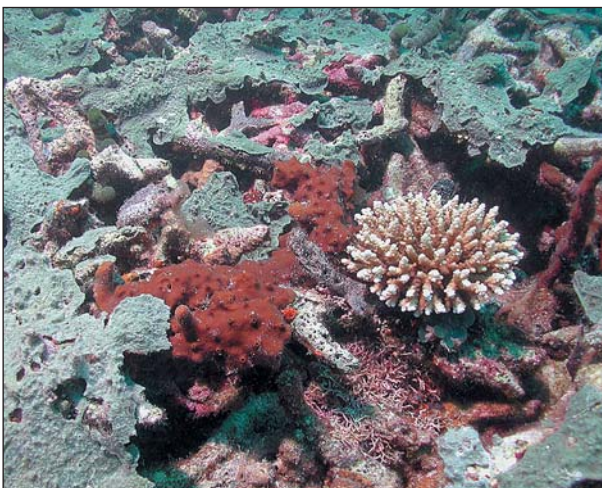
\* Подробнее см.: *Островский А.Н.* Коралловые рифы: утраченный рай? // Природа. 2004. №11. С.39—44.





Обломки кораллов и обросшие корковыми губками и водорослями мертвые колонии. Май 2000 г.

Здесь и далее фото Р.Кикингера



Молодые колонии *Acropora* sp., выросшие к весне 2002 г. Поверхность обломков мертвых колоний затянулась губками.

промысла, и успешность туристического бизнеса полностью зависят от «здоровья» коралловых экосистем, регулярных наблюдений за их состоянием до недавнего времени никто не проводил.

Потребность в мониторинге очевидна, и не только с практической, но и научной стороны: интересно было бы проследить за восстановлением (сукцессией) рифов, в особенности самых пострадавших участков. Такие наблюдения с 2000 г. начал регулярно проводить один из авторов статьи (Р.Кикингер).

Поскольку данная работа ведется по собственной инициативе и без отрыва от основных исследований, то количественные параметры восстановления кораллов на Мальдивских о-вах, в частности на острове Курамати, не учитывались. Однако даже только подводные фото- и видеосъемки позволяют получить общее представление об этой сукцессии.

Спустя два года после массового вымирания рифообразователей на Курамати уже появились первые признаки восстановления колоний. Почти во

всех подвергшихся негативному воздействию районах были зарегистрированы единичные молодые колонии мадрепоровых кораллов. Основу многих биоценозов к тому моменту составляли массивные колонии представителей родов *Porites*, *Platygyra*, *Favia*, *Favites*, которые в меньшей степени пострадали от перегрева. Большинство же «столообразных» и «ветвистых» коралловых колоний акропор (различные виды рода *Acropora*), напротив, погибли. Мертвые скелеты и их обломки стали активно заселяться губка-





Рыбацкий якорь на рифе.

ми, мягкими кораллами, актиниями, сидячими полихетами, мшанками, моллюсками и асцидиями. В то же время донные организмы (креветки, крабы, брюхоногие моллюски и морские ежи) по-прежнему встречались редко. Многочисленными и разнообразными остава-

лись только рыбы, из которых наиболее распространенными были виды рыб-попугаев (*Scariidae*), рыб-хирургов (*Acanthuridae*), рыб-белок, или солдат (*Holocentridae*), морских собачек (*Blenniidae*) и рифовых окуней (*Lutianidae*). Повсеместно распространены рыбы-ангелы



Молодые колонии на конце обломка мертвого коралла. Февраль 2003 г.

и рыбы-бабочки (группы родов рыб семейства щетинозубовых, *Chaetodontidae*), кузовки и шары (*Ostraciontidae*), а также мурены (*Muraenidae*), каменные окуни (*Serranidae*) и крылатки (*Pterois*). На границе рифов с глубоководными участками часто встречались черноперые и белоперые рифовые акулы (*Carcharhinus melanopterus*, *Triacnodon obesus*), скаты-орляки (*Myliobatidae*), тунцы (*Thunnus*), манти (*Mobulidae*) и морские черепахи (*Cheloniidae*).

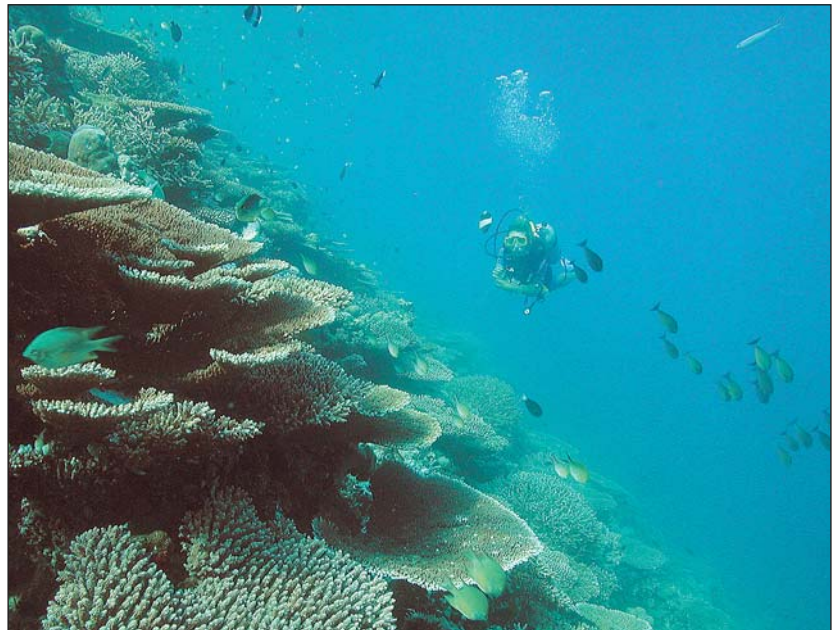
Через три года стало ясно, что восстановление мальдивских рифов — процесс неоднородный, во многом зависящий от локального гидрорежима. Чем он менее стабилен, чем сильнее течения или воздействие волн, тем меньше новых колоний здесь образуется, плавающих личинок которых попросту сносит на другие участки, где еще неизвестно, смогут ли они обосноваться и выжить. Кроме того, во многих районах продолжается активная эрозия коралловых построек, причем как мертвых, так и живых. Сверлят или грызут скелеты кораллов бактерии, водоросли, губки, двустворчатые и боконервные моллюски, мшанки и рыбы. Но не только биоэрозия разрушает кораллы, не менее губительны для них сильные волны и течения, особенно во время штормов и тропических ураганов. Образующиеся обломки мертвых кораллов, которые часто называют коралловой галькой или щебнем, становятся субстратом для вновь формирующихся колоний либо продолжают крошиться и преобразуются в песок. В частности, в груде обломков превратилось подавляющее большинство колоний акропор, занимающих на дне большие площади.

Некоторые участки поврежденных рифов уже заняты или продолжают быстро заселяться оппортунистическими видами — губками, мягкими кораллами и асцидиями. Обосновались они в пригодных для осе-

дания личинок мадрепоровых кораллов нишах, лишив тех возможности вернуться и колонизовать утраченные местообитания. Среди самих мадрепоровых кораллов доминируют виды, которые менее чувствительны к перегреву и выдерживают конкуренцию с другими обрастателями. К тому времени уменьшилась численность крупных рыб, таких как акулы, груперы, барракуды и рифовые окуни, однако пока неясно, с чем это связано — рыболовством или изменениями, затронувшими рифы.

**Спустя четыре года** некоторые районы мальдивских рифов стали выглядеть почти столь же привлекательными, как и до катастрофы. Тем не менее ее следы все еще видны, особенно на плоских участках дна, где скопились груды мертвых обломков. Формирование молодых колоний здесь затруднено, что объясняется несколькими причинами. Во-первых, крайне велико давление со стороны быстрорастущих корковых губок и некоторых видов зеленых водорослей, занимающих субстраты, пригодные для оседания личинок кораллов. Во-вторых, оседать личинкам мешает слой песка, который формируется на разрушенных колониях в результате активной биоэрозии. Главные ее «виновники» — рыбы-попугаи, которые, питаясь водорослями, растущими на кораллах, откусывают их куски и перетирают их в труху глоточными зубами. В-третьих, коралловые обломки, как правило, невелики и потому весьма ненадежны. Образовавшаяся на таком обломке новая колония по достижении некоторого критического размера обламывает свой субстрат, падает на дно, при этом часто опрокидывается, что, как правило, ухудшает условия ее существования и ведет к гибели.

Хотя количество и разнообразие рыб остаются высокими, их видовой состав изменился: многочисленны лишь те виды,



Живые колонии на глубине свыше 25 м. Январь 2004 г.

в рацион которых входят водоросли и планктон, количество же питающихся коралловыми полипами видов (например, некоторых рыб-бабочек) уменьшилось. Еще меньше осталось видов крупных рыб, но в этом повинны скорее всего рыбаки.

**Через пять лет** после катастрофы стало очевидным, что восстановление рифов идет крайне медленно. Несмотря на то, что количество вновь осевших на обломки мертвых колоний эпилбионтов довольно велико, число новых колоний мадрепоровых кораллов в большинстве исследованных районов тем не менее увеличивается незначительно. Исключения составляют лишь некоторые виды ветвящихся *Acropora*, молодые колонии которых в отдельных местах за пять лет достигли метра в диаметре. Колонии инкрустирующего вида *Porites rus* хотя и растут довольно успешно на плоских поверхностях дна, на некоторых участках продолжают отмирать и обрастают губками. Кроме того, в течение первых двух недель мая 2003 г. обесцвечивание вновь затронуло многие мелководные участ-

ки. Особенно сильно это отразилось на колониях родов *Fungia* and *Pocillopora*.

В последующие годы вплоть до настоящего времени ситуация практически не меняется, поэтому пока перспективы мальдивских рифов весьма неопределенны. Очевидно, что для полного их восстановления, даже если события, по силе и масштабности подобные катастрофе 1998 г., больше не повторятся, потребуется как минимум несколько десятилетий. В действительности же гибель кораллов в той или иной мере продолжается, поэтому их восстановление потребует значительно больше времени. Кроме того, рыбаки и менеджеры курортов крайне неохотно следуют рекомендациям биологов, стараясь выкачать из уникальной экосистемы как можно больше, ничего не вкладывая в ее восстановление, что, безусловно, в прямом или опосредованном виде отражается на состоянии рифов. Судьба мальдивских рифов — в руках жителей Мальдивской Республики, а вот смогут ли они ими распорядиться — покажет будущее. ■



# Экосистемы глубоководных кораллов и губок

А.М.Орлов,

*доктор биологических наук*

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии  
Москва*

В последние годы, когда запасы морских ресурсов прибрежных вод и внутренних морей значительно истощились, рыболовный промысел стал постепенно смещаться в глубоководные районы океана, где рыб и беспозвоночных животных добывают с помощью донных тралов. Плотнo контактируя с дном, траловые сети без разбора сметают все на своем пути, нанося серьезный ущерб и субстрату, и обитающим на нем живым организмам. Естественно, бурное развитие глубоководного рыболовства вызвало беспокойство ученых и природоохранных организаций во всем мире. Э.Норс — директор Биологического института сохранения моря (Marine Conservation Biology Institute, Редмонд, штат Вашингтон, США) — сравнил донные тралы с бульдозером, а такой способ добычи рыбы назвал разрушительно эффективным, убивающим на дне все живое.

Наиболее чувствительными к воздействию донных тралов оказались кораллы и губки, которые, как известно, живут долго, а воспроизводятся медленно. По мнению Норса, глубоководные коралловые рифы, возраст которых порой достигает 4,5 тыс. лет, важны не только сами по себе, так как могут служить индикаторами глобальных климатических изменений, а также источником лекарственных препаратов будущего, но и как среда обитания мно-

жества биологических видов, включая и промысловых рыб. Разрушение коралловых колоний может неминуемо привести к нарушениям устоявшихся связей в этих обособленных экосистемах со специфическим и уникальным населением и, как следствие, к их полному исчезновению.

Профессор Университета Британской Колумбии (University of British Columbia, Ванкувер, Канада) Д.Поли считает, что траление среди коралловых зарослей — самое худшее, что мы делаем в океане сегодня. Ведь нет ничего глупее, чем разрушение среды обитания, которое приведет к подрыву запасов рыб, и, как следствие, к необходимости их восстановления. Использование донных тралов, по словам Поли, должно быть прекращено немедленно и до тех пор, пока ученые не определят, возможно ли их применение на больших глубинах.

До недавнего времени кораллы и губки, обитающие на больших глубинах в северо-восточной части Атлантического океана, были изучены мало, гораздо больше было известно об их мелководных тропических сородичах. Сейчас ситуация в значительной степени изменилась — пополнились знания о таксономии, биологии и экологии глубоководных кораллов, проведены палеонтологические исследования, мониторинг и картирование коралловых экосистем, изучено их видовое богатство, а также намечены меры по их спасению. Для рассмотре-

ния всех этих вопросов ученые разных специальностей регулярно (каждые три года) встречаются на международных междисциплинарных симпозиумах, первый из которых состоялся в 2000 г. в Галифаксе (Канада). К началу второго симпозиума, проходившего в 2003 г. в г. Эрланген (Германия), было подготовлено заявление об охране глубоководных экосистем кораллов и губок Мирового океана, которое подписали 37 участников симпозиума — морских биологов и специалистов в области охраны природы из 11 стран мира. В дальнейшем это заявление было распространено и подписано участниками ежегодной встречи членов Общества сохранения моря (Pew Fellow in Marine Conservation, Блэйн, штат Вашингтон, США), Конференции по противостоянию исчезновению океанов (Defying Oceans End Conference, Вашингтон, округ Колумбия) и ежегодной встречи Американской ассоциации за прогресс в науке (American Association for the Advancement in Science, Сиэтл, штат Вашингтон). К настоящему времени список содержит 1452 подписи ученых из 69 стран, в том числе и из России. На сайте Биологического института сохранения моря ([http://www.mcabi.org/what/what\\_pdfs/dsc\\_signatures.pdf](http://www.mcabi.org/what/what_pdfs/dsc_signatures.pdf)) размещены оригинальный текст заявления и полный список его подписавших; для русскоязычных читателей приводим сокращенный перевод этого заявления.



## Заявление ученых об охране глубоководных экосистем кораллов и губок Мирового океана

Мы, биологи, занимающиеся изучением моря и охраной природы, глубоко озабочены тем, что хозяйственная деятельность человека, в частности рыболовный промысел с помощью донных тралов, наносит ни с чем не сравнимый ущерб глубоководным сообществам кораллов и губок на континентальных плато, склонах, а также на подводных горах и срединно-океанических хребтах.

Чрезвычайным и, возможно, самым большим на Земле биологическим разнообразием славятся мелководные коралловые рифы, за что их нередко называют «морскими джунглями». Но мало кто даже среди ученых, занимающихся изучением моря, подозревал до недавнего времени, что столь же богаты видами коралловые экосистемы более холодных и темных морских глубин. Так, недавно в зарослях североатлантического коралла лопелии (*Lophelia*) обнаружено около 1300 видов беспозвоночных животных, а на подводных горах Тасманового и Кораллового морей — свыше 850 видов макро- и мегафауны, т.е. почти столько же, что и на мелководных коралловых рифах Ямайки. Поскольку подводные горы, как правило, изолированы друг от друга, большинство населяющих их видов — эндемики, которые больше нигде не встречаются и потому особенно уязвимы. Более того, ученые, занимающиеся проблемами моря, наблюдали в укрытиях глубоководных коралловых рифов большое количество ценных для промысла, но уже редко встречающихся видов каменных и морских окулней. Словом, для устойчивости океанического биоразнообразия и стабильности рыболовства глубоководные сообщества кораллов и губок столь же важны, как и их аналоги в мелководных тропических районах.

В последние годы глубоководные коралловые заросли и рифы обнаружены у берегов Тасмании, Новой Зеландии, Аляски, Калифорнии, Новой Шотландии, Мэна, Северной Каролины, Флориды, Бразилии, Норвегии, Швеции, Великобритании и Ирландии. Однако из-за недостатка и дороговизны исследовательских обитаемых и дистанционно управляемых подводных аппаратов исследования этих поразительных сообществ пока находятся лишь

на начальной стадии. Тем не менее уже сейчас понятно, что обычно не испытывающие беспокойства глубоководные кораллы и губки, служащие убежищем для несметного числа видов, растут и воспроизводятся чрезвычайно медленно — буквально веками, а это означает, что и восстанавливаться после причинения им вреда они будут столь же медленно.

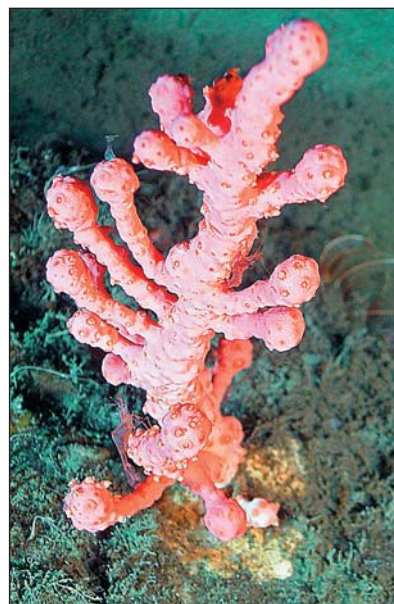
К несчастью, в наши дни человечество уже разработало технологии глубоководной добычи газа, нефти и угля. Однако наибольшую угрозу для сообществ кораллов и губок представляет коммерческий рыбный промысел на дне моря, особенно с применением донных тралов — очень больших, тяжелых сетей, которые тянут за собой по морскому дну рыболовные суда. Поскольку запасы рыб в мелководных районах сокращаются, промысел в возрастающем масштабе смещается на глубины, превышающие 1000 м, где для добычи рыб и креветок используются все более мощные и технологически более сложные траулера. Как показали научные исследования во всем мире, донное траление разрушает кораллы и губки, но еще не поздно спасти большинство глубоководных экосистем Мирового океана. Мы одобряем действия государств (в том числе Австралии, Новой Зеландии, Канады и Норвегии), которые уже сделали первые шаги и взяли под свою юрисдикцию некоторые экосистемы кораллов и губок. Мы настоятельно призываем правительства, Организацию объединенных наций и соответствующие международные организации по управлению действовать немедленно и создать законную основу для запрета глубоководного траления как в пределах исключительных экономических зон государств, так и в открытом море. Мы настаиваем на запрете любых технологий, которые позволяют рыбакам осуществлять траление на неровных поверхностях дна, где коралловые леса и рифы встречаются наиболее часто. Мы призываем поддержать исследования и картографирование уязвимых сообществ кораллов и губок, а также создать в открытом океане эффективную сеть морских охраняемых территорий, где сконцентрированы сообщества кораллов и губок.



Участок дна у северо-западного побережья Австралии до (слева) и после донного тралового промысла.  
Фото К.Солсбери (Совет по научным и промышленным исследованиям, Австралия)



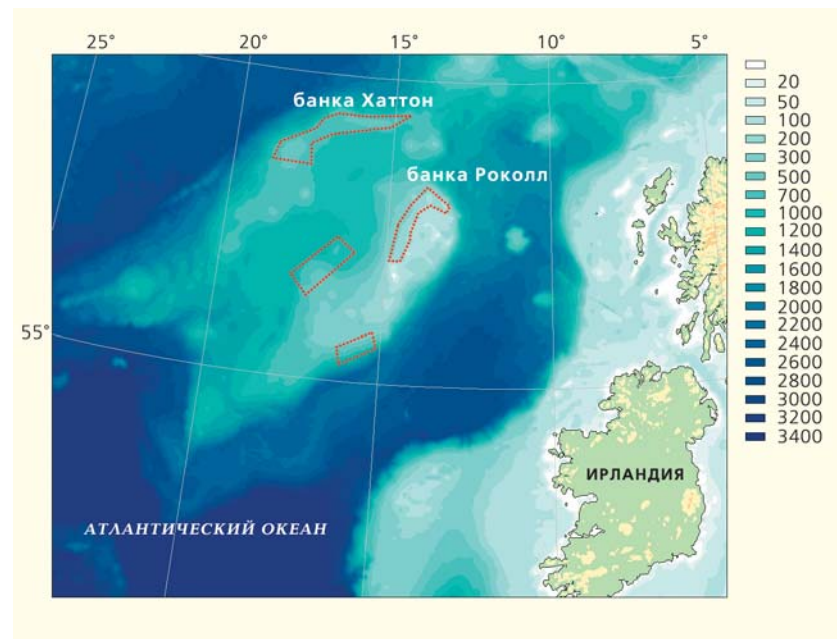
Глубоководные кораллы лофелия (вверху) и горгонария (внизу справа показаны полипы крупным планом).  
[www.noaa.gov](http://www.noaa.gov)





Необходимость охраны уникальных глубоководных экосистем не вызывает ни малейшего сомнения, и очевидно, что к охране их видового богатства, в соответствии с Конвенцией ООН о сохранении биоразнообразия, должны стремиться все государства. Однако полный запрет донного тралового промысла на больших глубинах в районах подводных гор и океанических хребтов вряд ли возможен. Одним из реальных решений проблемы может стать замена существующих донных тралов ярусными орудиями лова, которые располагаются в плавающем состоянии над рифом. Хотя их нижняя часть при выборке цепляется за кораллы и может обламывать их концы, применение ярусов, по мнению ученых, все же намного предпочтительнее существующего способа лова.

Наиболее же рациональный и действенный путь охраны экосистем кораллов и губок — проведение крупномасштабных исследований подводных гор и хребтов, выявление и картирование мест обитания кораллов и губок с последующей организацией в наиболее уязвимых для промысла районах морских охраняемых территорий по типу морских заповедников с запретом на любую хозяйственную деятельность человека. Примером такого подхода могут служить морские охраняемые территории в районе Азорских о-вов, введенные правительством Португалии, или аналогичные австралийские и новозеландские охраняемые территории в Антарктике. Есть примеры морских заповедников и в российских водах Приморья (залив Петра Великого), а также запретные для промысла участ-



Охраняемые территории глубоководных кораллов (выделены пунктиром) в районе банок Роккол и Хаттон, где, по решению NEAFC, введен запрет рыбного промысла на три года (2007—2009).

ки вокруг Командорских и Курильских островов. Такая практика уже успела себя положительно зарекомендовать и, на наш взгляд, выглядит гораздо привлекательнее в сравнении с полным запретом глубоководного тралового промысла.

Логическим продолжением призыва ученых к охране экосистем глубоководных кораллов и губок уже стало предложение Норвегии, поданное в октябре 2004 г. в Комиссию по рыболовству в северо-восточной Атлантике (North East Atlantic Fisheries Commission, NEAFC), о закрытии для тралового промысла районов на некоторых горах Срединно-Атлантического хр., хр. Рейкьянес и банки Хаттон. В качестве первых шагов для защиты глубоководных гидробионтов и их среды оби-

тания NEAFC приняла решение о закрытии на три года (2005—2007) четырех подводных возвышенностей на Срединно-Атлантическом хр. (подводные горы Хекаты, Фарадей, Альтаир и Антиальтаир) и северной части хр. Рейкьянес для всех типов донного промысла. Кроме того, на 25-й ежегодной сессии NEAFC, прошедшей в Лондоне в ноябре 2006 г., по предложению России и стран Европейского сообщества было решено на следующие три года (2007—2009) закрыть для рыбного промысла еще несколько участков, расположенных на банках Роккол и Хаттон, где вплоть до последнего времени велся интенсивный промысел (в том числе и российскими судами) тупорылого макруруса, морского петуха, пикши и других видов. ■



# Заметки и наблюдения Жар-птичка

О.В.Корсун,

кандидат биологических наук

Забайкальский государственный гуманитарно-педагогический университет

им.Н.Г.Чернышевского

Чита

Сухой весенний воздух в Забайкалье часто наполнен дымом дальних пожаров, который резко сужает обзор и окрашивает мир в буроватые тона. Природа теряет весеннюю свежесть, отчего и настроение тоже никакое — серо-бурое, без малинового. Кусты и деревья выглядят безжизненными, все кошки — серыми, все пичуги — воробьями. Даже звуки, кажется, вязнут в дымном мареве. Но нет правил без исключения.

Тягучий воздух, как нож масла, разрезает звучная, несколько скрипучая трелька. Теперь она слышна совсем рядом, с соседнего дерева, затем повторилась у ближайшего забора, потом с натянутого между столбами провода. Оторвавшись от своей лопацы, огородник бросает усталый взор на певца, чтобы невольно залюбоваться его ярким нарядом.

Посмотреть и в самом деле есть на что. Главное — успеть разглядеть исполнителя, шустрого, как вылетевшая из костра искорка, и яркого, как раскаленный уголек. Белые у него только макушка, да еще небольшое пятнышко на угольно-черном крыле. Нижняя часть тела и хвост будто не остыли и сверкают огненно-рыжим цветом. Спереди, правда, птичка напоминает не успешного умыться трубочиста, так что приходится только удивляться, как на этом фоне видны смысленные, как у всех пичуг, черные глазки. Уж это точно не воробей, а настоящая жар-птица, но в карликовом исполнении, чью свежесть расцветки не скрыть никакому дыму.

Так выглядит самец сибирской горихвостки (*Phoenicurus auroreus*), прилетающей в Забайкалье каждую весну. Яркорыжий хвостик, трепещущий у непоседливой птички, подобно огоньку пламени, у многих людей рождал сходные ассоциации, что отражено и в русском, и в латинском названиях (в переводе с латинского *phoenicius* — пурпурный, *ugo* — жечь, *auriga* — утренняя заря). И тем не менее горихвостка — одна из самых обычных наших птиц. Яркая окраска и звучная песня, а в дополнение — решительный, небоязливый, хотя и без панибратства, нрав — определенно делают ее легко узнаваемой.

Традиционно тяготея к речным долинам, горихвостка привыкла соседствовать с людьми, обустроиваясь по окраинам поселений, а зачастую и прямо вблизи жилья. Человек ведь по своей природе тоже существо околотовное. И здесь, наглядевшись на нашу изобретательность в окружении себя различными нужными и не очень вещами, горихвостка отвечает не менее талантливым их использованием при выборе места для собственного дома. Хорошо, если есть дупло или расщелина среди камней. Ну а нет — тоже не беда. Подойдет и застреха под крышей, лишь бы не очень досаждали скандалисты-воробьи. Сгодится и старый почтовый ящик, и даже действующая щитовая, где есть место прямо под рубильником. Как-то пара горихвосток успешно вывела у нас птенцов в старом тенте из-под детской коляски, засунутом за ненадобностью под крышу

дощаника. И даже имея выбор, горихвостки зачастую предпочитают беспокойное человеческое соседство. На горе Алханай, славной буддийскими памятниками, одна предприимчивая птичьё семья свила гнездо прямо под крышей беседки, которая защищает Маанин шулуун — каменную стелу с молитвой, высеченной старомонгольской вязью. Можно представить, как сидящая на яйцах самка настороженно косилась сверху на многочисленных паломников, повторяющих мантру «Ом мани падме хум».

Все же окончательный выбор места для гнезда делает, наверное, самка. В отличие от увлеченно вокалирующего самца, она предпочитает держаться в тени, эдаким «серым кардиналом». У большинства птиц, кстати, так и положено — самка выглядит гораздо скромнее. Биологи связывают эти отличия с половым отбором, на который в свое время обратил внимание еще Дарвин. Он вполне резонно предположил, что раз самцы у многих животных конкурируют между собой при выборе самки, то должны существовать какие-то критерии качества мужского пола как потенциальных отцов для драгоценного потомства. Набор таких критериев может быть самым неожиданным, лишь бы они повышали желательность самки по отношению к претенденту. В результате эволюция способствовала закреплению самых необычных признаков. Ветвистые олени рога, лягушачьи концерты на болоте или яркое птичьё оперение — все это в каждом



Самец и самка сибирской горихвостки.

Здесь и далее фото автора

конкретном случае способно растопить слабое дамское сердце. И неважно, что, например, та же расцветка делает самца более уязвимым для хищника. Ну, уж если выжил, значит, точно герой; такому можно вверить свою судьбу.

Как знак принадлежности к горихвосточьему племени, самка тоже имеет рыжее надхвостье. Да и повадками она напоминает самца — непосредливостью, умением неожиданно выпархивать из кустов и столь же стремительно скрываться, трудолюбием в сборе насекомых. Только вот на пение времени нет, пора откладывать яйца. Песня — прерогатива самца. Впрочем, это не от хорошей жизни или избытка эмоций. Многие ли осознают, что птичья песня — есть просто сигнал-предупреждение соседям, чтобы не совали свой клюв на уже за-

нятую территорию? Да может, и хорошо, что не осознают. Столетиями поэты восхищались соловьиным пением. Вообразите, каково было бы разочарование, если бы они узнали, что склоненный над розой лирический герой, старательно выделявая песенные колена, всего лишь угрожает соседям.

Впрочем, пение горихвостки длится недолго. Пока в гнезде лежат пять-шесть белых или голубых в крапинку яиц, самец честно выполняет свой долг. Устроившись на ветке или проводе, он, непрерывно подергивая хвостиком, каждое утро исполняет свой небогатый, но звонкий репертуар. Но желторотая орава растет так быстро, что скоро становится не до песен. Да и территориальные конфликты все улажены. Теперь уже не увидишь весенних скандалов, во время которых самцы, подоб-

но черно-рыжим торпедам, носятся друг за другом, переругиваются противными скрипучими голосами, начисто забывая о страхе и едва не налетая на людей. Правда, скоро придет время для второго выводака, но пока бы хоть этих прокормить.

Особенно опасный период — когда оперившееся потомство дружно вываливается из гнезда. Решившись покорить этот мир, они ничего еще по-хорошему не умеют: ни летать, ни добывать себе пищу. Вдобавок, ощутив прелесть самовыражения, они еще и начинают стрекотать на все лады, как компания оголтелых кузнечиков. Причем эти звуки переходят в громогласное верещание при появлении родителей с клювами, из которых во все стороны торчат усики и лапки пойманных насекомых. В такие минуты родители, кажется, с опаской приближаются





Гнездо.



Слеток.



Укрытие для гнезда.

к своим подросткам: с такой стремительностью те, распахнув огромные ядовито-желтые рты, кидаются за кормом.

Вдобавок у слетков, как у мо-лодежи вообще, начисто отсут-ствует ощущение опасности. Са-

мой ленивой кошке достаточно шевельнуть одной лапой, чтобы переловить эту компанию юных придурков. Пока крылья корот-ки, вместо того, чтобы прятать-ся под кустами, они собираются кучкой на удобной жердочке

и ворчливо склочничают, под-пихивая друг друга под бока и периодически засыпая. Подог-нутые вниз уголки плотно сжа-тых клювов придают их физио-номиям презрительное выраже-ние, типичное для утомленных жизнью нигилистов. Все это до-вольно комично сочетается с детским пушком на голове и пестрой подростковой оде-жкой.

К счастью, переходный воз-раст быстро заканчивается. Еще вчера неугомонная банда скака-ла по грядкам, норовя угодить вам прямо под ноги, а сегодня их уже и след простыл. Какое-то время им всем, без различия по-лов, предстоит носить серое са-мочье оперение. Но в один пре-красный день игра гормонов подарит некоторым из них чу-десные черно-бело-огненные костюмы, и почетные, и опас-ные одновременно. Потому что с этого дня за ними издали, даже сквозь дымную пелену ве-сеннего пожара, будут следить и безжалостные враги, и приве-редливые самки, и любопытный натуралист. ■



# Трансарктический дрейф «Тары»



Научные союзы

Ю.К.Бурлаков

Ассоциация полярников  
Москва

В рамках Международного полярного года 2007—2008 в марте 2007 г. начнет работать необычная дрейфующая полярная станция, разместившаяся на яхте. Этот любопытный проект изучения изменений климата Арктики выдвинули французские бизнесмены и путешественники Б.Бюиг и Э.Буржуа, увлекающиеся парусным спортом и проблемами охраны окружающей среды. Поскольку Бюиг занимается организацией полярных путешествий, оба они многократно побывали на Северном полюсе и дважды — в Антарктиде. Бюиг и договорил Буржуа купить яхту с алюминиевым корпусом для изучения Арктики и Антарктики. Заказал ее в середине 80-х годов другой француз — Ж.-П.Этьен, чтобы использовать судно как плавучую базу международной экспедиции «Транс-антарктика», которая в 1988—1989 гг. пересекла за семь месяцев на собачьих упряжках ледовый континент. Кстати, участником уникального перехода был В.И.Боярский, ныне директор Государственного музея Арктики и Антарктики в Санкт-Петербурге. Тогда яхта называлась «Антарктик».

В начале 90-х годов судно, получившее новое имя «Пелагик», приобрел известный новозеландский защитник природы П.Блейк. Во время одной из экспедиций по Амазонке он был убит бандитами.

Теперь яхта вернулась в высокие широты, для которых,

собственно, и строилась. Буржуа присвоил ей имя «Тара», так называлось судно его деда. Особенность новой «Тары» в том, что она сконструирована по принципу знаменитого «Фрама», на котором норвежский исследователь Ф.Нансен в 90-х годах XIX в. совершил дрейф через Центральный Арктический бассейн. Обводы судна яйцеобразные, при попадании в ледовый плен и дальнейших сжатиях оно выдавливается из опасной зоны на поверхность льдины.

За последние годы «Тара» совершила две морских экспедиции в Антарктику, вокруг Гренландии и к берегам Канадского архипелага. Смысл проекта «Тара Арктик 2007—2008» состоит в том, чтобы войти во льды со стороны Новосибирских о-вов (как в свое время «Фрам») и вместе с ними продрейфовать через Центральный Арктический бассейн с надеждой попасть в околполюсный район. На период Международного полярного года судно станет научной дрейфующей базой, на которую раз в два-три месяца будут доставляться группы ученых различных специальностей из 60 институтов и научных центров Европы. При постоянном экипаже в пять-шесть человек яхта способна принимать до десятка ученых, яхты позволяют разместить их с удобствами. Кроме того, в марте 2007 г. рядом с судном на льду будет развернут палаточный лагерь с жильем и лабораториями, так что летом население станции может значительно увеличиваться.

На борту «Тары» имеется запас топлива до 30 т (яхта парусно-моторная), 9 т продовольствия, опреснительная установка, четыре ветряка и солнечная батарея для получения электроэнергии, современные спутниковые средства связи, мусородробилка, уплотнитель и емкости для хранения отходов.

После трехмесячного дооборудования в порту г.Лорьен, в котором принимал участие и россиянин Г.Агамирзаев из Хатанги, «Тара» покинула 11 июля 2006 г. берега Франции. После непродолжительной остановки в столице Норвегии Осло, где экипаж почтил память Нансена в Музее «Фрама», яхта обогнула Скандинавию и вошла в Кольский залив. Пребывание в Мурманске несколько затянулось: контроль соответствия, контроль безопасности, санитарный контроль, таможенные формальности, обеспечение продовольствием... Через четыре дня «Тара» вышла на трассу Севморпути в сопровождении С.Писаренко, сотрудника Института океанологии РАН им.П.П.Ширшова.

Ледовая обстановка на трассе оказалась благополучной, яхта под парусами и мотором через 12 дней прибыла в Тикси. В этом арктическом порту пришлось простоять две недели. Дело в том, что отсюда маршрут круто поворачивал на север и «Тара» должна была выйти из российских территориальных вод. А вот пограничного и таможенного пунктов в Тикси нет. Экипажу предложили «пройтись» до порта Провидения (это



Яхта «Тара» на плаву (вверху) и в точке старта дрейфа.

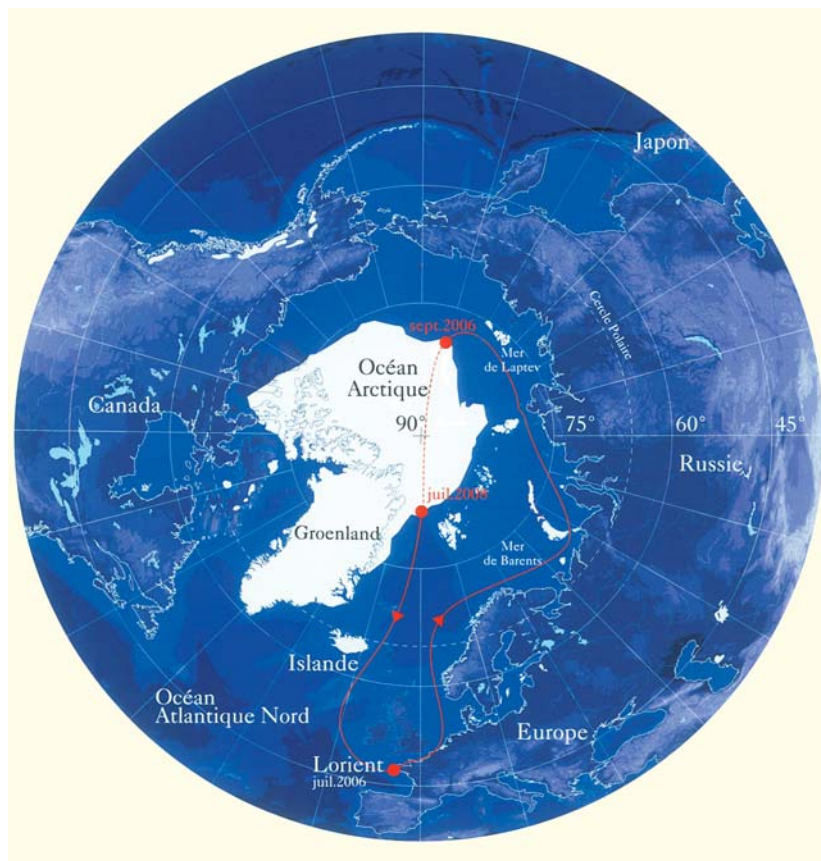


1.5 тыс. км), там «закрыть» границу, а потом возвратиться к Новосибирским о-вам. На это могло уйти месяц-полтора. Но около о. Котельного яхту уже ожидал ледокол «Капитан Драницын», который должен был помочь паруснику продвинуться в глубь ледяного массива. Простаивать он не мог.

Наконец выход нашли, направив представителей таможенной и пограничной служб в Тикси из Якутска. Вообще, надо отметить, правительство Республики Саха (Якутия) многое сделало для успешного проведения этого рейса, став достойным партнером программы.

31 августа «Тара» покинула Тикси. Место океанолога занял вице-президент Ассоциации полярников П.В.Селезнев, неоднократно участвовавший в подобных экспедициях. Место для зимней стоянки яхты нашли на 80-м градусе с.ш., в 1.2 тыс. км от Северного полюса. 7 сентября яхта начала трансарктический дрейф.

На ее борту осталось восемь человек, в том числе пятеро французов, один новозеландец и двое россиян: сотрудник Арктического и антарктического НИИ из Санкт-Петербурга В.Карасев и уже упоминавшийся Агамирзаев из Хатанги, а также две собаки лайки. Ледяное поле вначале с приличной скоростью пошло на север, затем дрейф замедлился, и к началу декабря «Тара» находилась на 82-м градусе, описывая широкие круги. Незадолго до этого экипажу пришлось пережить внушительное сжатие. Лды вокруг поло-



Составленный французскими участниками экспедиции предполагаемый маршрут яхты.

мались и яхту наклонило на 15°. Затем напор льдов уменьшился и судно вернулось в первоначальное состояние. На борту — сухо и тепло, действует центральное отопление. Радист регулярно отправляет сообщения по Интернету на французском и русском языках. Есть даже небольшой трактор, с помощью которого выравнивается поверхность льдины и перемещаются грузы.

К марту, когда закончится полярная ночь, рядом с яхтой возникнет палаточный городок и вертолеты доставят из Тикси первую группу ученых. Для заправки вертолетов созданы аварийные запасы топлива: один на о.Котельном, второй — в шести резиновых емкостях, по 5 т каждая, на льду рядом с яхтой. Тогда и начнутся наблюдения по программе Международного полярного года 2007—2008. ■



# В Центральном Дагестане открыты памятники раннего плейстоцена

Х.А.Амирханов

Еще совсем недавно наиболее ранние следы обитания человека на Северном Кавказе фиксировались только по материалам Треугольной пещеры в Карачаево-Черкессии. Нижний культурный слой этой пещеры относится ко времени, отстоящему от нас примерно на 600 тыс. лет. В самые последние годы у хутора Жуковского на Ставрополье и в местности Богатыри (Синяя балка) в Приазовье найден археологический материал, относящийся к еще более раннему времени. Ценность этих находок в том, что они сопровождаются остатками древней фауны, которая хорошо подкрепляет определение возраста памятников в пределах примерно от 800 тыс. до 1.2 млн лет назад. Однако вещественные коллекции обоих этих пунктов имеют и свои недостатки. Так, находки из окрестностей хутора Жуковского представлены лишь единичными отщепами, а материалы стоянки Богатыри не имеют необходимой типологической выразительности, чтобы, опираясь на четкие археологические критерии, однозначно определить их культурно-хронологический статус, т.е. отнести их к той или иной эпохе.

Много нового в понимание начальных этапов истории Северного Кавказа привносят ма-



*Хизри Амирханович Амирханов, член-корреспондент РАН, доктор исторических наук, профессор, заведующий отделом археологии каменного века Института археологии РАН. Область научных интересов — археология каменного века Юго-Западной Азии и Кавказа, верхний палеолит Восточной Европы, проблемы культурирования и культурной географии первобытности, первоначальное расселение человечества, этноархеология. Неоднократно печатался в «Природе».*

териалы стоянки Дарвагчай 1, открытой недавно в прикаспийском Дагестане [1]. Особая значимость вмещающих археологические остатки отложений состоит в том, что они содержат раковины морских моллюсков, пригодных для датирования памятника. Состав обнаруженной здесь фауны моллюсков характерен для слоев древней террасы Каспийского моря, называемой бакинской и датированной примерно 600—800 тыс. лет назад.

Таким образом, работы в сущности нескольких последних лет уже дали принципиально важные основания для пересмотра имевшихся ранее представлений о первоначальном заселении человеком Юго-Восточной Европы и начальных этапах культурной истории

в этом регионе Евразии. На таком фоне исследователей ждали и, думается, ждут в будущем еще более впечатляющие находки. Некоторые из них довелось обнаружить Северокавказской палеолитической экспедиции Института археологии РАН.

Экспедиция начала свои исследования под руководством автора в 2006 г. в Центральном, внутриворонном, Дагестане в районе слияния рек Акуша и Усиша. Непосредственным поводом для исследований именно в этом районе послужили результаты рекогносцировочных охранных работ 2004 г., которые проводились здесь в связи с возведением рядом с селением Акуша (административным центром Акушинского р-на) одного из хозяйственных объектов. Сотрудники Института истории, археологии



Водораздельный хребет, протянувшийся вдоль центральной части Акушинской котловины; разделяет долины рек Акуша и Усиша.

и этнографии Дагестанского научного центра РАН Р.Г.Магомедов и Г.К.Хангишиев обнаружили на современной поверхности одного из холмов рядом с селением Айникаб кремневые артефакты. Наблюдения показывали, что такие же изделия содержатся и в естественных геологических обнажениях. Наша совместная с дагестанскими исследователями поездка к пункту находок в 2005 г. позволила выявить достаточно большую плотность залегания артефактов на одном из участков вертикального обнажения отложений на водоразделе рек Акуша и Усиша. Ознакомление с местной геолого-геоморфологической ситуацией, а также с особенностями вновь обнаруженных стратифицированных археологических находок позволяет сделать вывод об исклю-

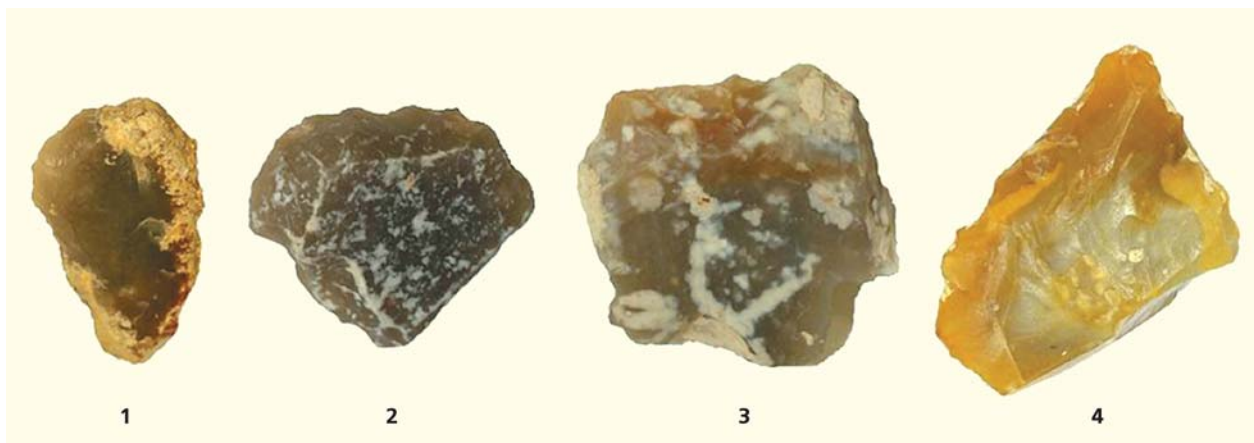
чительной научной значимости местонахождения, о котором идет речь.

В полевом сезоне 2006 г. экспедиция Института археологии РАН свои главные работы сосредоточила в пункте Айникаб I, расположенном к югу от селения Айникаб. Это место представляет собой фрагмент водораздела двух названных рек. Исследуемый участок в настоящее время выглядит как изолированная и доминирующая над местностью гора (высота — 1543 м над ур.м. и 220 м над современными руслами Акуши и Усиши). В геоморфологическом отношении этот участок представляет собой часть водораздельного хребта, возвышающегося над всей Акушинской котловиной и протянувшегося по ее продольной оси.

Склоны долин в районе, где проводятся наши исследования, имеют ступенчатый рельеф в виде речных террас, изрезанных поперечными балками. На разных участках террасы выражены с различной степенью отчетливости. В створе селений Айникаб—Чинимахи террасы р.Усиша, сложенные галечниками, образуют четкие уровни на отметках 220, 145 и 100 м. Чуть ниже по течению реки лучше выявляются более низкие террасы; здесь наиболее выразительны уступы высотой 50 и 25 м над современным руслом реки.

Наличие системы террас важно для нас с той точки зрения, что предоставляет хорошую возможность для датировки археологического материала, обнаруживаемого в страти-





Кремневые орудия олдованской эпохи со стоянки Айникаб I: 1–3 — мелкие скребки, 4 — клювовидное острие.

фицированном виде. Кроме того, это позволяет вычленять отдельные культурно-хронологические группы каменных индустрий и обобщать их основные характеристики. На выполнение этих задач и была в основном нацелена экспедиция 2006 г.

В ходе разведочных работ пункты скопления археологического материала выявлены в отложениях 220-, 145- и 100-метровой террас р.Усиша. Наибольшее количество находок в виде каменных изделий (146 экземпляров) обнаружено на стоянке

Айникаб I. На пяти других памятниках найдено от восьми до 27 предметов.

Среди скоплений археологического материала в окрестностях селения Айникаб наибольший интерес представляют находки из отложений самой высокой речной террасы, возвышающейся на 220 м над руслами Акуши и Усиши. На этом уровне зафиксировано три памятника: Айникаб I, Айникаб II и Айникаб VI. Расстояние между крайними из них составляет 3 км. То, что на всем этом протяжении сохраняется единообразная картина геологических напластований, позволяет устанавливать стратиграфические, а следовательно, и хронологические соответствия между находками, обнаруживаемыми в естественных обнажениях и в шурфах.

Наиболее представительна коллекция находок, полученная из двух шурфов, которые были заложены нами на стоянке Айникаб I. Каждый из шурфов имел площадь 4 м<sup>2</sup>; один достигал глубины 4 м, а второй — 3 м. Изделия из кремня обнаружены в четырех слоях одного шурфа и в двух слоях другого. Общее количество находок с этого памятника, включая незначительное число предметов из естественного обнажения, составляет на данный момент 146 каменных изделий. Сырьем для них служил сероватый кремль, ес-



Чоппер — массивное грубо обработанное рубящее орудие. Стоянка Айникаб I.



тественные выходы которого встречаются относительно недалеко, в известняках, окаймляющих Акушинскую межгорную впадину.

Среди разнообразных находок представлены все категории кремневых изделий, характерных для палеолитических стоянок охотников древнекаменного века. Кроме значительного количества законченных орудий, в коллекции имеются группы предметов, относящиеся к заготовкам орудий, к изделиям с незаконченной обработкой или к поломанным в ходе использования, а также многочисленные отходы каменного производства. Особенно выделяется значительная в количественном отношении группа чопперов; это массивные орудия, изготовленные из крупных обломков желваков кремня, один из краев которых грубой двусторонней оббивкой превращен в рубящее лезвие, а противоположный край — массивный и чаще всего необработанный — представляет собой своеобразный обушок для захвата рукой. Помимо этих грубых рубящих изделий представлены немногочисленные экземпляры скребков, сделанных как из небольших отщепов, так и массивных обломков, орудия с ретушированными выемками на краях, клювовидные и шиповидные острья, а также единичные предметы в виде пик из фрагментированных желваков кремня.

Набор подобного каменного инвентаря указывает на принадлежность стоянки Айникаб I к самой начальной стадии археологической периодизации истории человечества. По наименованию ущелья Олдувай в Танзании, где Льюисом Лики были выявлены памятники с ранее неизвестной культурой, эта эпоха утвердилась в археологии под названием олдован. Ее протяженность в настоящее время устанавливается примерно в рамках 2,4—1 млн лет назад.

Близкий по техническим характеристикам археологичес-



Разрез геологических напластований в шурфе глубиной 4 м на стоянке Айникаб I.

кий материал обнаружен нами и в отложениях более низкой, 145-метровой айникабской террасы. Наконец, в галечных наносах следующей по убыванию высоты 100-метровой речной террасы выявлен очень выразительный набор каменных изделий, который характерен для сменяющей олдован ашельской эпохи с временными рамками примерно от 1 млн до 100 тыс. лет назад. Наиболее диагностичной формой этой коллекции является изделие, называемое ручным рубилом. Наличие в инвентаре такого изделия служит

бесспорным основанием для отнесения памятника на любой территории именно к ашельской эпохе.

То, что исследуемый участок предстает сейчас в виде террасового уровня с отметкой 220 м от современных русел упомянутых рек, позволяет наметить примерные временные рамки археологических материалов. По формальным признакам нижние слои Айникаб I допускают их определение как аллювиальных, однако ни во время их накопления, ни после их формирования еще не существовало заметного

вреза долин и самих рек Акуша и Усиша. Это свидетельствует в пользу пролювиального (результат активности временных водотоков) и/или флювиогляциального (продукты размыва и перераспределения горно-долинно-ледниковых наносов) генезиса изучаемых слоев.

Таким образом, рассматриваемые отложения представляют собой аккумулятивный чехол поверхности выравнивания с отметками 1200—1500 м над ур.м. Этот уровень хорошо представлен в Центральном Дагестане в виде обширных пространств Левашинского плато. К этой же поверхности выравнивания относятся уровни Акушинского и Урминского водоразделов, а также Буртунайская и Хадумская куполовидные поднятия. Образование данной поверхности выравнивания геологи согласно относят к позднему плиоцену, точнее — к акагильскому горизонту региональной геолого-стратиграфической схемы Каспия. Формирование этой огромной морфоструктуры завершилось примерно 1.8 млн лет назад. С этого рубежа на выровненной денудационными процессами Акушинской межгорной равнине начинается накопление аккумулятивной толщи. Последняя в свою очередь должна была вместе с цокольными отложениями подвергнуться активному размыву и дальнейшей транспортировке в ходе начавшегося процесса вреза долин Акуша и Усиша. Это было местным проявлением общих геологических процессов, связанных с началом формирования современной речной сети на Северо-Восточном Кавказе.

Итак, общий историко-геологический взгляд на датировку изучаемого памятника основывается на признании хроностратиграфической значимости таких горных морфоструктур, как поверхности выравнивания. Исходя из этого, условия залегания археологических остатков на стоянке Айникаб I следует от-

нести к раннеплейстоценовому (эоплейстоценовому, апшеронскому) времени.

Уточнению этой общей датировки могут способствовать данные геоморфологии речных террас. Опираясь на заключения специалистов по четвертичной геологии Кавказа о том, что интенсивные углубления долин соответствовали эпохам межледниковий [2, 3], можно 220-метровый террасовый уровень рек Акуша и Усиша отнести к одному из межстадиалов, который следует за каким-то очень древним оледенением. Соответственно, отложения, которые формируют этот террасовый уступ и содержат археологические остатки, будут относиться ко времени более раннему, чем начало данного межледниковья.

Установить искомые оледенения и межледниковья помогают данные, касающиеся зависимости возраста речных террасовых уровней от глубины вреза долин. Конкретные сравнительные исследования, проводившиеся на Северо-Восточном Кавказе [4], свидетельствуют о том, что для средних рек Дагестана террасовые уровни в пределах 200 м соответствуют возрасту около 800 тыс. лет назад. Реки Акуша и Усиша относятся скорее к малым, чем к средним рекам Дагестана. При этом высота их верхнего террасового уровня существенно превышает 200 м. Таким образом, если подходить к датировке культурных отложений Айникаб I с точки зрения геоморфологии долин, то получается, что образование уступа наиболее высокой террасы Акушинской котловины завершилось к началу оледенения, которое по времени предшествует бакинской трансгрессии Каспия, в альпийской схеме четвертичного периода — оледенения гюнц. Для Восточного Кавказа это должно быть именно то эоплейстоценовое оледенение, которое относят к апшеронскому времени. Соответственно,

врез долины, в результате которого сформировалась 145-метровая терраса, проходил в межледниковье гюнц—миндель и завершился к началу оледенения миндель. В этой системе отсчета 100-метровая терраса должна была образоваться к началу рисского оледенения.

Приведенные рассуждения позволяют определить возраст археологических находок, происходящих из аллювия 145-метровой террасы, в рамках бакинского горизонта региональной стратиграфической схемы Каспия (500—800 тыс. лет назад). Эти находки в хронологическом отношении будут прямо соотноситься с материалами стоянки Дарвагчай I в приморском Дагестане, которые залегают непосредственно в отложениях бакинской террасы Каспийского моря.

Согласно приведенным выше данным, верхняя хронологическая граница археологических остатков из отложений 220-метровой террасы должна быть установлена на отметке не менее 900 тыс. лет назад. Временной отрезок, в рамках которого накапливались обломочные толщи этой террасы, мог быть очень протяженным. Фактами, которые уточнили бы конкретное время начала формирования отложений, мы не располагаем. Опираясь на данные о времени формирования поверхности выравнивания, с которой начинался врез долин рек Акуша и Усиша, можно лишь говорить, что возрастной предел находок, о которых идет речь, не может быть древнее 1.8 млн лет назад. При этом низы отложений Айникаб I, имеющие в основном пролювиальный генезис, могут быть связаны с концом стадии общепланетарного раннеплейстоценового похолодания, имевшего место около 1.45 млн лет назад.

Наличие в исследуемом районе системы террас дает, как уже отмечено, хорошую возможность не только для датировки археологического мате-

риала, обнаруживаемого в стратифицированном виде, но и для выделения и описания его отдельных культурно-хронологических групп. Другими словами, мы можем наблюдать характер эволюции культуры палеолитического времени на протяжении нескольких сотен тысяч лет.

Если соотнести выявленные группы археологического материала с террасами, то обнаруживается следующая закономерность. Наиболее высокому террасовому уровню (220 м над руслом реки; пункты: Айникаб I, Айникаб II, Айникаб VI) соответствует индустрия грубых рубящих орудий — чопперы, пики и проторубила. В целом такую же индустрию содержит галечник 145-метровой террасы (пункты Айникаб III, Аникаб IV). К сожалению, количество находок здесь ограничено: они происходят только из сборов в естественных обнажениях. Вероятность найти на этих стоянках орудия с бифасиальной обработкой, например ручные рубила, которые характерны для иного индустриального комплекса, называемого ашельским, вполне реальна, поскольку провозвестник рубила — проторубило — уже встречается в коллекции стоянки Айникаб IV, относящейся к более высокой 220-метровой террасе.

Совершенно иначе выглядит материал 100-метровой террасы (стоянка Айникаб V). На типично ашельский характер этой индустрии указывает представленная в ней развитая бифасиальная техника и наличие такой диагностичной формы, как рубило. Здесь уже нет признаков присутствия чоппера и пики.

Изучение археологических памятников Центрального Дагестана находится пока в начальной стадии. Теперь предстоит большая работа, предполагающая раскопки на каждом из выявленных разновозрастных памятников и, что особенно важно, проведение лабораторных исследований образцов грунта из геологических разрезов, где обнаружен археологический материал. Это даст ответы на многие возникающие вопросы. Однако уже те материалы, которыми мы располагаем сейчас, позволяют сделать обобщения, имеющие принципиальное значение для начальных этапов истории Юго-Восточной Европы.

Айникабские материалы безупречны со стратиграфической точки зрения и чрезвычайно выразительны в археологическом отношении. Они впервые со столь большой степенью определенности позволяют утверждать, что в Юго-Восточной

Европе, а конкретно на территории юга России, отсчет исторического процесса нужно начинать не с ашельской, а с предшествующей — олдувайской эпохи. Таким образом, исчезает казавшаяся неестественной дистанция протяженностью почти в 1 миллион лет, которая разделяла начало культурного процесса на Северном Кавказе в сравнении с Закавказьем. Новые данные из Центрального Дагестана позволяют определить время, когда первоначальное заселение Северного Кавказа уже произошло. Пока оно устанавливается в достаточно широких рамках — от 1.45 млн до 900 тыс. лет назад. Одна из главных задач продолжающихся исследований — уточнение этой датировки. По геологическим данным, нижняя отметка указанного временного отрезка в качестве датировки наиболее ранних айникабских археологических материалов представляется более вероятной, чем верхняя. И, наконец, полученные материалы служат надежным подтверждением предложенной нами ранее [5] концепции каспийского пути как одного из направлений первоначального заселения Евразии и прежде всего Юго-Востока Европы со стороны Западной Азии. ■

## Литература

1. Амирханов Х.А., Деревянко А.П. // Вестник Института истории, археологии и этнографии. 2004. №1.
2. Думитрашко Н.В. Основные проблемы геоморфологии Кавказа. М., 1960.
3. Думитрашко Н.В., Лиленберг Д.А., Панов Д.Г., Церетели Д.В. Денудационная хронология Кавказа // Современные проблемы географии. Научные сообщения советских географов по программе XX Международного географического конгресса (Лондон, 1964). М., 1964. С.236—239.
4. Лукина Н.В. Оценка интенсивности и ритмики четвертичных движений Большого Кавказа по анализу поверхностей выравнивания, речных и морских террас // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М., 1987. С.230—245.
5. Амирханов Х.А. Отчет о полевых работах Северокавказской палеолитической экспедиции в 2003 году. М., 2004.



# Самоорганизация неустойчивых сред

## Точные решения

Б.А.Трубников,

доктор физико-математических наук  
РНИЦ «Курчатовский институт»  
Москва

В природе встречаются как устойчивые, так и неустойчивые сплошные среды. Поведение и тех, и других описывается нелинейными уравнениями гидродинамики. Для устойчивых сред с 60-х годов известен ряд точных солитонных решений, оказавших большое влияние на развитие науки, которая называется нелинейной физикой. Оказывается, что для неустойчивых сред также существует набор точных решений, и это позволяет выявить наиболее характерные виды неустойчивости. Они важны для описания роста случайных возмущений, самопроизвольно возникающих в неустойчивой среде и описывающих разрывы сплошной среды на отдельные сгустки. Возникающая наука о неустойчивых средах применима уже к полусотне разнообразных ситуаций. Важность темы и многообразие ее физических приложений примирили редакцию с ее относительной сложностью.

### «Цунами» на полу и на потолке

«Сплошные среды» (жидкость, газ или плазма) могут находиться либо в устойчивом, либо в неустойчивом состоянии. Простой пример устойчивой среды — слой воды, на по-

верхности которого могут бегать различные волны — длинные или короткие. Если длина волны  $\lambda$  велика по сравнению с глубиной слоя  $H$ , то волна распространяется со скоростью  $c_0 = \sqrt{gH}$ , где  $g$  — ускорение силы тяжести. Именно с такой скоростью распространяются волны цунами, описываемые «теорией мелкой воды». Основным здесь является знаменитое уравнение Кортевега—де Фриза (КдФ, 1896 г.), которое позволяет находить скорость движения воды как функцию времени и координаты. Не приводя самого уравнения, напомним, что оно в качестве слагаемого содержит произведение искомой скорости на производную скорости по координате, т.е. нелинейно.

Самое типичное его решение — уединенная волна, которую называют «солитоном КдФ». Даже если начальное возмущение состояло из хаотического набора волн, то их нелинейное взаимодействие приведет к тому, что из первичной «каши» волн вначале родится один большой солитон, потом еще несколько солитонов, а оставшаяся мелкая рябь постепенно расплывется из-за дисперсии и исчезнет. Такова общая картина эволюции возмущений в устойчивых средах, где наиболее распространенным видом возмущений следует считать именно солитон определенного типа.

Отметим, что солитон «на мелкой воде» впервые в 1834 г.

наблюдал английский инженер Джон Скотт Рассел. Но только лишь начиная с 1967 г. многие физики и математики занялись созданием общей науки о солитонах в различных устойчивых средах (подробнее см. [1]).

Теперь мысленно вообразим, что мы заморозили тонкий слой воды на полу и перевернули всю комнату «вверх ногами», так что лед оказался на потолке, затем мы его мгновенно нагрели, и он превратился в слой воды на потолке. Он не может сразу обрушиться вниз как единое целое, так как снизу его подпирает атмосферное давление воздуха в 1 кг/см<sup>2</sup>. Но такая ситуация будет неустойчивой, и слой начнет собираться в капли и струи, падающие вниз. Уравнения движения воды в слое фактически останутся прежними, но только ускорение силы тяжести поменяет знак по правилу  $g \rightarrow -|g|$ , так что бывшая «скорость цунами» станет мнимой по правилу перехода  $c_0 = \sqrt{gH} \rightarrow i\sqrt{|g|H}$ . Такая ситуация и будет означать переход устойчивой среды в неустойчивую. В ней уже не будет волн, бегущих вдоль поверхности, а в направлении, перпендикулярном ей, будут нарастать стоящие на месте возмущения определенного «квазичаплин-гинского» типа, рис.1, которые приведут к образованию капель и в итоге заставят всю воду упасть вниз.

Все изображенные на рисунке варианты — результат анали-

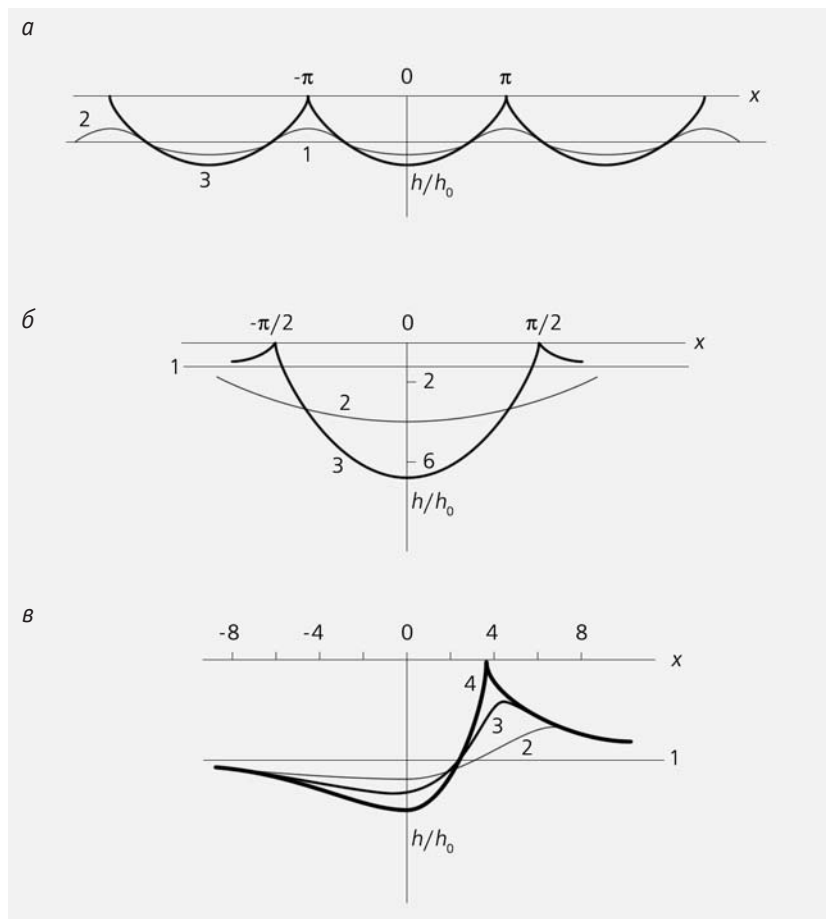


Рис.1. Три типа точных решений для «капель на потолке» [2], описывающие разные варианты эволюции слоя воды. Слой мы характеризуем относительной толщиной  $h/h_0$  в данной точке потолка ( $h_0$  — первоначальная толщина).

тического решения «квазичаплыгинских» уравнений (см. ниже). Периодические по координате  $x$  нарастающие во времени (1-2-3) капли (вариант *a*) не могут возникнуть случайно, так как для строгой периодичности нужна «внешняя» причина ее появления. Вариант *б* — нарастание во времени (1-2-3) одиночной капли с осевой симметрией — также маловероятен, поскольку симметрию может обусловить лишь «внешняя» причина. Поэтому наиболее типичным (истинно случайным) следует считать вариант *в* — несимметричную каплю (сочетание горбика с ямкой), нарастающую во времени (1-2-3-4) вплоть до полного обрыва слоя в момент времени 4.

### Вспоминяя Чаплыгина

Академик Сергей Алексеевич Чаплыгин (1869—1942), наряду с известным всем Н.Е.Жуковским, был одним из основоположников науки о воздухоплавании. В 1903 г. он защитил докторскую диссертацию «О газовых струях». Эта работа оказалась столь важной, что много лет спустя ее следствия обсуждались на Всемирном конгрессе по большим скоростям в авиации (Рим, 1935 г.), в докладах классиков гидродинамики — Л.Прандтля, Т.Кармана, Д.Тейлора, А.Буземана (см. [3]). В 1948 г. город Раненбург Рязанской обл., где родился Сергей Алексеевич, был переименован в город Чаплыгин.

В своей диссертации Чаплыгин, в частности, исследовал пример необычного газа, для которого давление  $p$  обратно пропорционально плотности  $\rho$ , так что постоянным является их произведение  $p\rho = \text{const}$ , и расширение газа ведет не к падению давления, что всегда реально и происходит, а к его росту. Такой «газ Чаплыгина» неустойчив и сам по себе в природе не существует. Однако описывающие его нелинейные уравнения допускают возможность точного решения, и такая модель с рядом модификаций оказалась весьма полезной при изучении многих «квазичаплыгинских» неустойчивых сред.

Простейшим примером может служить тонкая струя воды, спокойно вытекающая из кухонного крана, но из-за неустойчивости распадающаяся на отдельные капли под действием сил поверхностного натяжения. А наиболее грандиозный пример — процесс формирования отдельных галактик из первично однородного вещества Вселенной, рассматриваемый как модель «модифицированного газа Чаплыгина» (см., например, [4]).

В наших статьях и книгах [2, 5—8] показано, что более 50 различных неустойчивых сред в приближении длинных волн ( $\lambda \gg H$ ) описываются двумя уравнениями гидродинамического типа

$$\begin{aligned} \dot{\rho}^* &= -\rho^* \text{div } \mathbf{v}; \\ \dot{v} &= c_0^2 m \text{ grad } \rho^{*1/m}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь точка сверху означает полную производную по времени,  $\rho^* = \rho/\rho_0$  — безразмерная приведенная плотность (отношенная к невозмущенной),  $\mathbf{v}$  — скорость среды,  $m$  — некоторое азимутальное число и  $c_0^2$  — квадрат эффективной скорости звука. При этом роль «приведенной плотности» в разных случаях могут играть различные величины. Неустойчивые среды, описываемые нелинейными уравнениями (1), мы и называем квазичаплыгинскими средами (для га-

за Чаплыгина  $m = -1/2$ ). Для значений их перечень дан на следующей странице (заметим, что многие виды неустойчивостей и солитонов носят имена ученых, которые их впервые исследовали). Во всех случаях удается найти точные аналитические решения «квазичаплыгинских» уравнений.

Поясним, как они решаются и что дают их решения.

### 0 «квазичаплыгинских» решениях

Как уже отмечалось выше, в устойчивых средах произвольное возмущение в конце эволюции превращается в набор солитонов определенного типа, независимого от вида начального возмущения. В противоположность этому, процессы в неустойчивой среде полностью задаются видом начального возмущения, и здесь трудно указать «главные» типы решений. Однако в *линейном приближении* скорость  $\mathbf{v}$  мала, а «приведенная плотность» близка к единице, так что  $\rho^* = 1 + \delta$  и  $\delta \ll 1$ . Тогда азимутальное число  $m$  выпадает из уравнений (1) и они имеют решение  $\delta = (ae^{\gamma t} + be^{-\gamma t})\sin(\mathbf{k}\mathbf{r})$  с двумя экспонентами — растущей с инкрементом  $\gamma = kc_0$  и убывающей. Это позволяет ис-

пользовать впервые введенный нами в работе [4] и крайне важный *эволюционный принцип отбора спонтанности* (ЭПОС).

Отбросим решения, растущие при убывании времени, т.е. положим  $b = 0$ . Тогда остающаяся нарастающая экспонента  $\exp(\gamma t)$  в пределе обратного времени  $t \rightarrow -\infty$  будет экспоненциально малой, так что требование ЭПОСа имитирует случайность возникновения первичных малых спонтанно нарастающих возмущений в таких средах.

Самым важным свойством нелинейных «квазичаплыгинских» уравнений (1) оказывается то, что в *одномерном нестационарном* и в *двумерном стационарном случаях* (т.е. когда есть лишь две независимые переменные) они допускают возможность точного аналитического решения при любых начальных условиях. Дело в том, что в указанных случаях уравнения (1) образуют систему двух так называемых «квазилинейных уравнений», и их можно преобразовать в чисто линейные. Для этого вместо искомых функций  $v = v(t, z)$  и  $\rho^* = \rho^*(t, z)$  следует ввести две обратные функции  $z = Z(\rho^*, v)$  и  $t = T(\rho^*, v)$  (такой переход называют «преобразованием годографа»). И наиболее примечателен обнару-

женный автором факт: новые уравнения сводятся к хорошо известному в электростатике уравнению Лапласа

$$\Delta\Phi = \langle 0 \rangle \quad (2)$$

с лапласианом  $\Delta$  в трехмерном «параметрическом пространстве» с цилиндрическими координатами  $(r, \phi, z)$ , где  $r = \rho^{*1/2m}$ ,  $z = v/2mc_0$ ,  $\phi$  — параметрический азимутальный угол, искусственно введенный автором для достижения наглядности при отыскании «электростатических» решений, и  $\Phi(r, \phi, z)$  — «эффективный потенциал», роль которого в нашем случае играет комбинация функций  $\Phi = r^m T(r, z)\cos(m\phi)$ . Правда, решения  $\Phi$  будут отличаться от нуля, только если нуль «0» справа заменить *бесконечно тонкими* «эффективными зарядами». Где же их следует расположить? Можно показать, что требования ЭПОСа будут выполнены лишь в том случае, если во введенном нами трехмерном параметрическом пространстве такие заряды  $Q_{\text{eff}}$  расположены только на бесконечно тонкой окружности единичного радиуса  $r = 1, z = 0$ , на которой  $\rho = \rho_0, v = 0$  при  $T = -\infty$  (рис.2). Тогда «затравки» возмущений будут экспоненциально малы в обратном пределе времени  $t \rightarrow -\infty$ , имитируя случайность возникновения нарастающих возмущений.

Отметим, что имеется много работ других авторов (см. литературу в книге [2]), не учитывавших условия ЭПОСа. Приводимые ими частные решения в обратном пределе времени обращаются в бесконечность, и такие решения трудно интерпретировать, поскольку они вызваны как бы «сильным ударом», нанесенным по неустойчивой среде в далеком прошлом. Подобные события нельзя назвать случайными.

Если, в соответствии с требованиями ЭПОСа, «эффективные заряды» расположены только на бесконечно тонкой окружности ( $r = 1, z = 0$ ), то общее решение

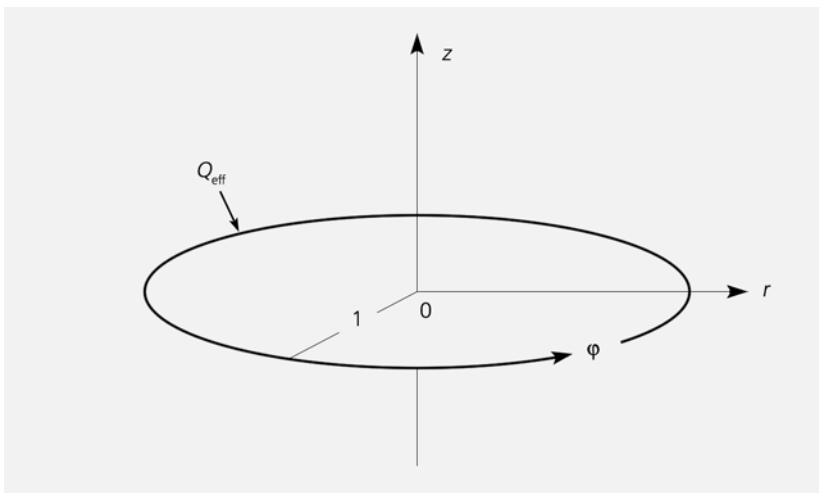


Рис.2. Воображаемое трехмерное пространство с параметрическими цилиндрическими координатами  $(r, \phi, z)$ .



**Физические среды, описываемые уравнениями (1)**

**пример с параметром  $m = -2$**

1. Цилиндр жидкости с поверхностным натяжением дробится на капли

**примеры с параметром  $m = -1$**

2. Перетяжки на несжимаемом скинированном пинче — плазменном цилиндре с поверхностным током (дробят пинч на диски)
3. Перетяжки на сжимаемом скинированном пинче дробят его на диски

**примеры с параметром  $m = -1/2$**

4. Одномерный нестационарный газ Чаплыгина (разбивается на слои-«банчи»)
5. Двумерный стационарный поток газа Чаплыгина (дробится на параллельные слои)
6. Бунемановская неустойчивость плазмы (разбивает ее на слои)
7. Тиринг-неустойчивость плазменного слоя с током (дробит его на пинчи)
8. Параметрическая неустойчивость плазмы в переменном электрическом поле
9. Коллапс (самосжатие) изгибных возмущений солитонов типа синус-Гордона
10. Бунчировка ионов, ускоряемых на биениях волн в плазме

**примеры с параметром  $m = 1/2$**

11. Изгибные возмущения солитонов типа Кадомцева—Петвиашвили (они коллапсируют)
12. Изгибные возмущения солитонов типа нелинейного уравнения Шредингера (НУШ)
13. Неустойчивость типа Кельвина—Гельмгольца (искажает границу двух течений)
14. Нагревно-излучательная неустойчивость слабоионизованной плазмы (дробит ее на сгустки)

**примеры с параметром  $m = 1$**

15. Слой «опрокинутой» мелкой воды (собирается в капли на потолке)
16. Газ Ван-дер-Ваальса в неустойчивой области параметров (дробится на сгустки)
17. Гравитационная неустойчивость типа Релея—Тейлора тяжелого газа над легким
18. Самофокусировка света в «кубичной среде»
19. Модуляционная неустойчивость продольных волн в плазме
20. Самофокусировка поперечных волн в плазме
21. Сферический коллапс поперечных волн в плазме
22. Самосжатие монохроматических волновых пакетов
23. Самофокусировка волновых пакетов вследствие неустойчивости типа Лайтхилла,
24. в частности, волн на глубокой воде («теория 9-го вала»)
25. Неустойчивость гравитирующего газового слоя
26. Неустойчивость «затопленной» цилиндрической струи в трубке с жесткими стенками
27. Неустойчивость «затопленной» плоской струи в плоской щели
28. Изгибная неустойчивость границы двух ручьев с разными скоростями
29. Неустойчивость течения стратифицированной «мелкой» атмосферы
30. Бунчировка электронного пучка в плазме
31. Разбиение его же на слои и нити-«филаменты»
32. Разбиение ионного пучка в среде на слои
33. Изгибные возмущения солитонов типа Бенджамена—Оно
34. Филаментация лазерного луча в «кубичной» среде

**примеры с параметром  $m = 3/2$**

35. Изгибные возмущения солитонов Кортевега—де Фриза (КдФ)
36. Изгибные возмущения солитонов НУШ с дефокусирующей нелинейностью
37. Нарастающие ямки плотности слабонеидеального Бозе-газа

**другие примеры**

38. Возмущения «обобщенного» газа Чаплыгина
39. Возмущения «обобщенного» уравнения КдФ
40. Возмущения «обобщенного» уравнения НУШ
41. Возмущения кноидальных волн КдФ
42. Возмущения кноидальных волн НУШ
43. Модуляционная неустойчивость периодических волн обобщенного НУШ
44. Тепловая неустойчивость газов
45. Гофрировочная неустойчивость ударных волн
46. Рождение «блотов» (токовых нитей плазмы) в токамаках

**релятивистские обобщения**

47. Обобщенный газ Чаплыгина
48. Модифицированный газ Чаплыгина
49. Перетяжки на релятивистском плазменном пинче
50. Перетяжки на релятивистской струе жидкости с поверхностным натяжением [10]

уравнения Лапласа (2) следует искать в виде разложения в ряд  $\Phi = \cos(m\varphi)\Sigma_n\Psi_n(r, z)$  по «мультиполям». При этом оказывается, что «кулоновский» член с  $n = 0$  соответствует решению, периодическому по длине (ср. рис.1). Но удаленные друг от друга отдельные малые всплески начальных возмущений среды не будут взаимодействовать между собой, поэтому самыми типичными следует считать не периодические по длине, а уединенные решения, из которых простейшим и важнейшим является дипольное решение с  $n = 1$ .

Более того, решения будут однозначны лишь при *целых и полуцелых значениях* «азимутального числа»  $m$  (для полуцелых  $m$  решения описываются элементарными функциями, а для целых  $m$  выражаются через эллиптические интегралы). Только такие квазичаплыгинские среды (с  $m = -2, -1, -1/2, 1/2, 1, 3/2$ ) и встречаются в природе, хотя и угол  $\varphi$  и само трехмерное параметрическое пространство введены автором чисто формально и не являются реальными объектами (это удивительный пример «организаторской» роли абстрактной математики в природе).

Предложенная нами около 20 лет назад «квазичаплыгинская гидродинамика» находит дальнейшие применения [9]. В общем случае нелинейные уравнения (1) можно решать лишь численными методами. В многомерных случаях, когда аргументами являются либо  $(t, x, y)$ , либо  $(t, x, y, z)$ , иногда удается отыскать частные автомодельные решения нелинейных уравнений (1). Такие решения имеют вид либо цилиндра с эллиптическим сечением, либо эллипсоида с уменьшающимися во времени длинами осей. Например, в термоядерных установках токамаках подобные решения описывают особые нарастающие возмущения плазмы, называемые «блобами», которые образуются в пристеночной плазме и приводят к повышенным «недиффузи-

онным» потерям. Решение в виде трехосного эллипсоида можно рассматривать как модель галактики, сжимающейся под действием гравитационных сил стягивания (такая «теория блинов» для галактик была развита Я.Б.Зельдовичем). Сенсацией стало обнаруженное в 1997—1998 гг. ускорение разлета Вселенной, обусловленное антигравитацией темной энергии, рассматриваемой как «модифицированный газ Чаплыгина» [4].

Поговорим чуть подробнее об одном из приложений.

### Распределение космических лучей по энергиям

Квазичаплыгинские уравнения (1) допускают релятивистское обобщение [10]. И возможно, наиболее эффективным их применением служит модель пинч-механизма ускорения галактических космических лучей (ГКЛ), предложенная автором в работах [7, 8]. В отличие от ранее известной теории рождения ГКЛ на фронтах ударных волн, порождаемых взрывами сверхновых звезд, в пинч-модели считается, что ГКЛ рождаются в плазменных пинчах (цилиндрических плазменных образованиях, сжимающихся из-за взаимодействия текущего в них тока с магнитным полем), возникающих в плазменных облаках *после* прохождения фронта ударных волн при различных мощных космических взрывах. В «пинч-модели» предполагается, что все пространство космоса равномерно заполнено такими источниками, где периодически обрываются и вновь формируются плазменные пинчи, из которых ультраэнергичные ГКЛ распространяются по прямолинейным траекториям. При этом энергетический спектр частиц в источниках должен совпадать с наблюдаемым вблизи Земли.

Нелинейные уравнения релятивистской гидродинамики для

плазмы скинированного пинча мы решали в «приближении узкого канала». После «преобразования годографа» для релятивистского «квазипотенциала»  $\Phi(x, y)$  получается линейное уравнение (4), сходное с уравнением Лапласа (2) (подробнее см. [7, 8]); его решения также можно искать в виде разложения в ряд по «релятивистским квазичаплыгинским мультиполям»  $\Phi = \Sigma_n\Phi_n(x, y)$ . Однако член с  $n = 0$  соответствует решению, периодическому по длине пинча. Но в условиях космоса нет причин для появления периодичности, поэтому первым следует оставить «дипольный член» с  $n = 1$ , который приводит к формуле для интенсивности ГКЛ:

$$j(\beta) = \alpha_i\beta^2(1 - \beta^2)^{k/2}$$

с показателем

$$k = 1 + \sqrt{3} = 2.7320 \quad (3)$$

(здесь  $\beta = v/c$ ,  $\alpha_i$  — множитель нормировки для разных ионов). Эта формула с множителем  $\beta^2$  и показателем  $k = 2.7320$  согласуется с наблюдаемым спектром ГКЛ.

Получаемый в нашей «пинч-модели» теоретический показатель  $k = 1 + \sqrt{3} = 2.7320$  хорошо описывает наблюдаемый у Земли спектр ГКЛ в области сравнительно малых энергий  $10^{10} < E < 10^{15}$  эВ. Считается, что эти частицы рождаются при взрывах сверхновых звезд непосредственно в нашей Галактике. Но при более высоких энергиях регистрируются изломы спектра, и предполагается, что такие «ультраэнергичные» частицы рождаются в далеких источниках вне нашей Галактики [11—13].

В недавних работах [11, 12] проделаны расчеты, предполагающие, что в самих этих источниках первичный спектр вида  $dN/dE \sim E^{-k}$  с «пробным» показателем  $k$  не имеет изломов. Изломы же возникают на пути длительного прямолинейного движения частиц от источников к Земле за счет столкновений частиц с реликтовыми фотонами. Начиная с энергий  $E > 10^{17}$  эВ,

при таких столкновениях должны рождаться электрон-позитронные пары, что приводит к торможению первичных частиц и формированию видимого излома — «второго колена» спектра, наблюдаемого у Земли. Наилучшее согласие расчетов с экспериментальными данными получено при подборе «пробного» показателя равным  $k = 2.7$  [11] и  $k = 2.75$  [13], рис.3. И хотя в указанных работах не обсуждается сам механизм формирования первичного спектра в источниках, тем не менее близость этих обеих расчетных цифр к значению  $k = 1 + \sqrt{3}$ , даваемому нашей «пинч-моделью», позволяет предполагать, что и в далеких «метagalактических» источниках ускорение частиц ГКЛ осуществляется по рассмотренному нами «пинч-механизму». ■

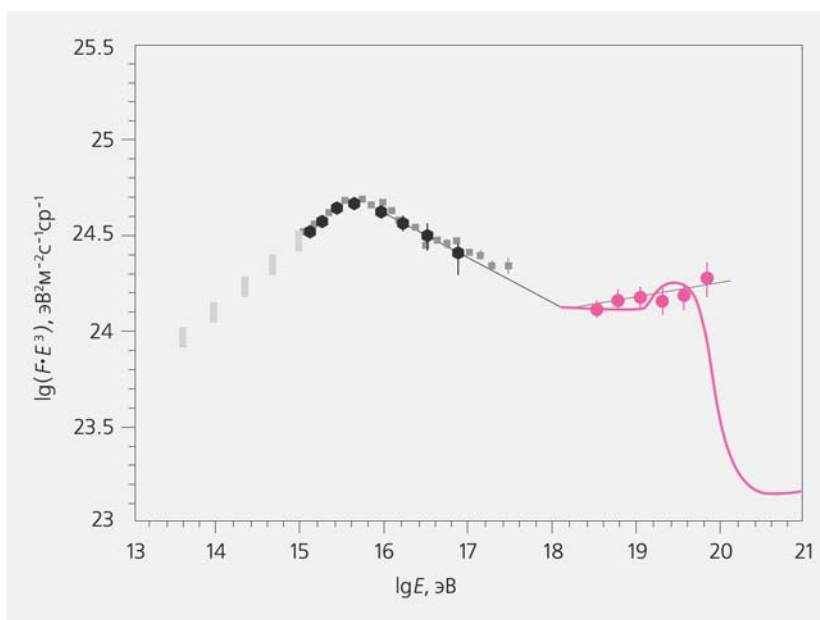


Рис.3. Энергетический спектр космических частиц по данным разных установок ( $F$  — поток частиц) [13]. Расчетная кривая, показанная цветом, соответствует равномерно распределенным источникам с первичным спектром  $\sim E^{-2.75}$ .

## Литература

1. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику. М., 2006. С.439.
2. Жданов С., Трубников Б.А. Квазигазовые неустойчивые среды. М., 1991.
3. Чаплыгин С.А. Избранные труды. М., 1976. С.94.
4. Debnath U. Modified Chaplygin gas and Accelerated Universe. Book of abst. Conf. EPS-13. «Beyond Einstein — Physics 21 Century». Bern, 11—15 July 2005, rep. RB4-3-WED. P.88.
5. Жданов С., Трубников Б.А. // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т.43. Вып.4. С.178—182.
6. Trubnikov B.A., Zhdanov S.K. // Physics Reports. 1987. V.154. P.201.
7. Trubnikov B., Zhdanov S., Zverev S. Hydrodynamics of Unstable Media. CRC-Press, 1996.
8. Трубников Б.А. Теория плазмы. М., 1996. С.424—432.
9. Трубников Б.А., Власов В.П. // Взгляд в будущее. Труды Международной конф. посв. 70-летию академика РАН Р.З.Сагдеева. 20—22 янв. 2003 г. М., 2003. С.88.
10. Власов В.П. // ЖЭТФ. 2005. Т.128. Вып.6. №12. С.1314—1320.
11. Beresinsky V.S. Ultra-high energy cosmic rays. Rep. from Lomonosov session. М., 2005.
12. Scully S.T., Stecker F.W. // Astroparticle Physics. 2002. V.16. P.271—278.
13. Хренов Б.А., Панасюк М.И. Посланники космоса: дальнего или ближнего? Космические лучи ультравысокой энергии // Природа, 2006. №2. С.17—25.



# Владимир Иосифович Векслер — создатель синхрофазотрона

К 100-летию со дня рождения

Б.М.Болотовский,

*доктор физико-математических наук  
Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН*

Б.С.Ратнер,

*доктор физико-математических наук  
Институт ядерных исследований РАН  
Москва*

Владимир Иосифович Векслер родился 4 марта 1907 г. в Житомире. Его мать, Регина Владиславовна, была женой инженера Иосифа Векслера. Уже будучи замужем, она полюбила художника Давида Петровича Штеренберга. Он и стал отцом ее сына. Еще до рождения ребенка Штеренберг вынужден был эмигрировать. Новорожденный получил фамилию Векслер.

В 1915 г. Иосиф Векслер умер. Его жена вторично вышла замуж. Давид Петрович Штеренберг вернулся в Россию после революции 1917 г. Отец очень любил сына, несколько раз возил его в Германию для лечения от предполагаемого туберкулеза.

Однако в 14 лет Володя, которому не нравилась обстановка в семье отчима, ушел в детский дом-коммуна им.А.В.Луначарского. После окончания девятилетки весь выпуск решил пойти на производство. Володя поступил на ситценабивную фабрику учеником монтера в электромеханической мастерской. Уже тогда он проявлял редкую сообразительность, увлекался техникой и физикой — сам собрал радиоприемник (по тем временам эта задача была непростой). Руководство фабрики решило направить его на даль-

нейшую учебу в Институт народного хозяйства им.Г.В.Плеханова. Позднее, в связи с реорганизацией института, Векслер перешел на заочное отделение Московского энергетического института. Одновременно он стал младшим лаборантом Всесоюзного электротехнического института (ВЭИ). В 1931 г. получил диплом инженера по специальности рентгенотехника и вскоре женился на Нине Александровне Сидоровой, дочери своей любимой школьной учительницы. Нина Александровна была историком, впоследствии заведовала сектором истории Средних веков в Институте истории АН СССР и была профессором МГУ. Их дочь — Екатерина Владимировна Сидорова — в настоящее время доктор биологических наук, заведующая отделом НИИ вирусных препаратов.

## Новый способ регистрации рентгеновского излучения

После окончания института Владимир Иосифович поступил научным сотрудником лаборатории рентгеноструктурного анализа в институт, который после нескольких переименований стал называться Всесоюзным электротехническим (ВЭИ).



Владимир Иосифович Векслер (1907—1966).

Тематика проводившихся там исследований была очень разнообразна. В институте работали многие известные ученые — П.А.Флоренский, Л.И.Мандельштам, И.Е.Тамм, Б.А.Введенский, П.А.Круг, С.И.Вавилов, Г.С.Ландсберг и многие другие.

Векслер увлекся разработкой нового способа регистрации и контроля за интенсивностью рентгеновского излучения. Вместо фотопластинки использовалась чувствительная ионизационная камера. Все придуманные им установки он собирал и мон-



С матерью Региной Владиславовной.  
1917 г.

тировал сам. Некоторые из приборов (например, цилиндрический пропорциональный газовый счетчик) вскоре нашли широкое применение при изучении космических лучей.

В 1935 г. Векслер защитил кандидатскую диссертацию и вскоре стал заведующим лабораторией. Рос его авторитет. В своей области он знал и физику рентгеновского излучения, и аппаратуру, которая использовалась для измерений интенсивности. Он сам внес большой вклад в разработку этой аппаратуры. Так же хорошо он знал и другие разделы электромагнитной техники, и теорию, и эксперимент.

Жизнь в то время была нелегкой. Семья Владимира Иосифовича жила в темной и сырой комнате, в старом доме, перестроенном из конюшни. Зимой стены промерзали. Нина Александровна заболела туберкулезом. Дочка Катя каждую зиму болела воспалением легких. Денег хватало в основном на еду.

Сохранился приказ директора ВЭИ от 29 января 1935 г. Этим приказом награждаются сотрудники «за высокие показатели в производственной работе за 1934 год». Кто-то награжден радиоприемником, кто-то патефоном, кто-то орденом на

пошивку пальто... Научный сотрудник группы рентгеновских лучей тов. В.И.Векслер награждается отрезком на костюм.

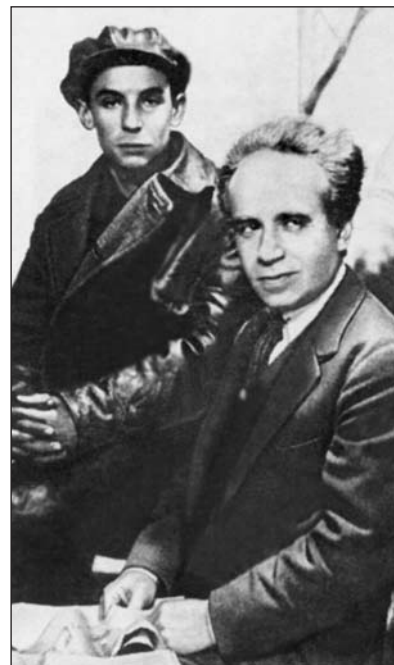
### Прорыв в физику космических лучей

В 1937 г. Векслер перешел в Физический институт АН (ФИАН), фактически по инициативе группы молодых сотрудников (И.М.Франк, П.А.Черенков, Л.В.Грошев и др.), которые работали в лаборатории атомного ядра. Они были высокого мнения о работах Векслера и считали, что созданные им приборы и методы измерений необходимо использовать в экспериментах по изучению атомного ядра и космических лучей.

Специальностью создателя и директора ФИАНа, академика Сергея Ивановича Вавилова, была физическая оптика. Но как человек широкого кругозора, он заботился о том, чтобы в институте разрабатывались перспективные направления. Таким перспективным направлением он, один из немногих, считал физику атомного ядра, включая и физику космических лучей. Для руководства этой тематикой Вавилов пригласил академика Д.В.Скобельцына. В то время (1936 г.) Скобельцын работал в ФИАНе в качестве консультанта, приезжая еженедельно из Ленинграда.

Когда возник разговор о переходе Векслера в ФИАН, Вавилов сказал Франку: «Вы все в ядерной физике по-настоящему еще не встали на ноги, и пока не следует расширяться». Однако познакомившись с Векслером и побеседовав с ним, Сергей Иванович изменил свое мнение. Франк вспоминал: «Талантливость Владимира Иосифовича была настолько очевидна, что таким опытным руководителем, как Сергей Иванович Вавилов, не могла не быть замечена» [1. С.257].

В те годы в ФИАНе существовала Эльбрусская комплексная



С отцом Давидом Петровичем Штеренбергом. Конец 20-х годов.

научная экспедиция (ЭКНЭ). В ее состав входила группа физиков, занятых исследованием космического излучения. Векслер сразу же был назначен руководителем этой группы. Экспедиция работала в течение четы-



С женой Ниной Александровной.  
Начало 30-х.

рех довоенных лет. О космических лучах, в частности об их составе, в те годы было мало что известно. Многие физики придерживались мнения, что космические лучи состоят из электронов. Результаты измерений на Эльбрусе позволили расширить представления о составе космического излучения. В частности, было обнаружено большое количество вторичных частиц — медленных мезонов. В 1940 г. Векслер защитил докторскую диссертацию «Тяжелые частицы в составе космических лучей». Одним из его оппонентов был Скобельцын. В своем отзыве он писал:

«...можно констатировать, что в представленной диссертации мы имеем выдающуюся работу».

Применение пропорциональных счетчиков к изучению космических лучей, предложенное впервые Векслером, открывает новые перспективы в ряде вопросов и, в частности, в отношении чрезвычайно актуальной задачи изучения свойств мезонов.

В данной области, имеющей исключительное теоретическое значение, в настоящее время наблюдается известное отставание эксперимента от теории. Последняя ставит ряд неотложных вопросов, на которые эксперимент не может дать ответа, так как достаточно эффективные методы исследования этих явлений еще не найдены. Открытие нового пути в этом направлении представляет большую заслугу Векслера.

Обнаруженное им впервые в мире новое явление — наличие в большом числе вторичных медленных мезотронов — в настоящее время констатировано также и другими наблюдателями. Этот результат представляет, несомненно, большой интерес, в особенности поскольку он, видимо, совершенно не укладывается в рамки того круга явлений, которые могут быть предсказаны принятой в настоящее время теорией.

Диссертация показывает также, что В.И.Векслер обладает эрудицией в той мере, в какой это необходимо не только для продуктивной самостоятельной работы, но и для того, чтобы руководить исследовательской работой в той области космического излучения, в которой он специализировался» [2].

Векслер всего четыре года занимался исследованием космических лучей, а знал уже столько, что эти знания специально отметил человек с многолетним опытом в этой области. Это свойство было для Векслера характерно на протяжении всей его жизни: если он начинал заниматься чем-либо, то быстро выходил на передний край исследования.

Интересно здесь заметить, что результаты, полученные Векслером по регистрации рентгеновских лучей с помощью ионизационной камеры, оказались востребованными в биологической физике. В предвоенные годы, работая в ФИАНе, Владимир Иосифович был также по совместительству консультантом Всесоюзного института экспериментальной медицины. Там была лаборатория фотобиологии. Руководитель ее Глеб Михайлович Франк, известный биофизик, был родным братом Ильи Михайловича Франка, одного из тех молодых физиков, по инициативе которых Векслер перешел из ВЭИ в Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН [3]. Векслер помогал биофизикам в создании методов регистрации жестких излучений, в частности велись работы по рентгеноструктурному анализу биологических тканей.

### Открытие электронно-ядерных ливней

Война прервала, а точнее говоря, прекратила проведение Эльбрусской экспедиции. ФИАН был эвакуирован в Казань. Физики переключились на военную тематику. Векслер также за-

нялся проблемой, которая имела военное значение. Первоначально он с группой сотрудников стал разрабатывать установку, которая позволила бы определить местоположение самолета по шуму мотора. Была разработана аппаратура, которой оснащались армейские рупоры-звукоулавливатели. Однако вскоре появились радиолокаторы, которые определяли положение самолета с гораздо большей точностью и притом не так зависели от погоды, как акустические приборы. Звукоулавливатели были сняты с вооружения. Однако в гидроакустике применение идеи Векслера оказалось плодотворным. Предложение о разработке гидроакустического варианта было сделано В.И.Векслером и Е.Л.Фейнбергом в 1944 г. Фейнберг показал, что гидролокация подводных объектов может осуществляться с помощью системы гидрофонов, при этом следует учитывать корреляцию сигналов, поступающих от разных гидрофонов. Векслеру и Фейнбергу было выдано авторское свидетельство на пеленгатор, который впоследствии получил название коррелятора. В дальнейшем корреляционные методы обработки информации получили широкое распространение.

В 1943 г. ФИАН вернулся из эвакуации в Москву, и Векслер вплотную занялся выбором места для высокогорной экспедиции. База на Эльбрусе попала в опасную прифронтовую зону, кроме того, работа сильно затруднялась тем, что автомобильный транспорт до базы не доходил, все необходимое приходилось поднимать «на ишачьем транспорте». Надо было искать другое место.

В центре Восточного Памира, в урочище Чечекты, на высоте 3860 м над ур.м. находилась Памирская биостанция АН. Здесь и было решено создать высотную станцию по изучению космических лучей. Создание станции и первые измерения приходятся на 1944 г. Орга-



низатором и руководителем всех работ был Векслер. Директор биостанции О.В.Заленский еще до войны уговаривал Владимира Иосифовича создать в этом месте базу для изучения космических лучей. Он оказал физикам большую помощь, особенно необходимую на первых порах. Сначала измерения проводились только в летнее время, отсюда и название — Памирская экспедиция ФИАН. В 1946 г. началось строительство большого здания. Летом 1947 г. оно вошло в строй, и стало возможно проводить измерения круглый год.

После экспедиции 1946 г. Векслер передал руководство Памирской экспедицией и лабораторией космических лучей ФИАН Н.А.Добротину. Сам Векслер к тому времени уже переключился на физику ускорителей.

Исследования, которые проводились на Памирской станции ФИАН под руководством Векслера, позволили существенно продвинуть наши знания относительно состава космических лучей и взаимодействия элементарных частиц при высоких энергиях. До этих исследований, как уже было отмечено, бытовало мнение, что космические лучи состоят из электронов высокой энергии. Когда такой электрон попадает в вещество, он образует так называемую электронно-фотонную лавину (иногда говорят, что образуется электронно-фотонный каскад).

Быстрый электрон в веществе излучает тормозной квант высокой энергии, квант рождает пару электрон-позитрон, каждая из компонент пары излучает тормозной квант, каждый квант снова рождает пару и т.д. Число частиц в лавине растет, а энергия их падает. Развитие электронно-фотонной лавины было достаточно подробно исследовано в ряде теоретических работ. Измерения на Памире привели к открытию нового типа ливней, развитие которых определялось не только электромаг-



С участниками Памирской экспедиции. 1947 г.

нитными, но и ядерными взаимодействиями. В таких ливнях происходило не только «размножение» электронов и фотонов, но и множественное рождение частиц, которые активно взаимодействовали с атомными ядрами вещества. Впоследствии эти ливни получили название электронно-ядерных [4].

В 1951 г. открытие и исследование электронно-ядерных ливней было, как важное научное достижение, отмечено Сталинской премией. Однако в числе лауреатов Векслера не оказалось. Первоначально он был выдвинут, но потом исключен из числа претендентов. Участник Памирских экспедиций А.Л.Любимов в своих воспоминаниях пишет: «Много лет спустя, незадолго до своей смерти, Владимир Иосифович рассказал мне, что Добротин просил его не претендовать на включение в список кандидатов на эту премию. В голосе Владимира Иосифовича звучала давняя обида...» [1. С.65]. Добавим к этому, что сам Добротин также был выдвинут на Сталинскую премию за ту же самую работу, и он премию получил. Вклад Векслера был ему известен как мало еще кому.

## Автофазировка

Впрочем, в том же 1951 г. Векслер был удостоен Сталинской премии за другое свое достижение. Его наградили за разработку новых принципов ускорения заряженных частиц и за сооружение первых синхротронов — ускорителей, действие которых основано на этих новых принципах. Об этой стороне деятельности Векслера нами пока ничего не было сказано. Теперь мы на этом остановимся.

Еще в предвоенные годы, когда Владимир Иосифович вел исследования по космическим лучам на Эльбрусе, уже тогда в ФИАНе обсуждался вопрос о создании необходимой экспериментальной базы для исследований по физике элементарных частиц и атомного ядра. Фейнберг вспоминал: «Сергей Иванович [Вавилов] понимал, что серьезная физика невозможна без крупного ускорителя. В деле его сооружения, как казалось, он может полагаться только на свой неокрепший коллектив. И вот в 1940 г. принимается смелое решение: создается «циклотронная бригада» с заданием изучить вопрос о сооружении циклотрона с диаметром полю-



На семинаре в ФИАНе.

сов в несколько метров и приступить к его проектированию. Мне и теперь это решение кажется почти невероятным. В циклотронную бригаду вошла все та же «зеленая» молодежь — Векслер, Вернов, Грошев, Черенков и я. Изучение вопроса шло интенсивно, споры по поводу возможных вариантов были горячими, но все лишь для того, чтобы снова и снова убеждаться в невероятной трудности задачи» [5. С.146].

Ускорители давали пучки быстрых частиц, и пучки эти обладали интенсивностью, которая во много раз превосходила интенсивность потока частиц в космическом излучении. Это свойство ускорителей было очень удобно для лабораторных исследований. Однако энергия ускоренных частиц была сравнительно невелика — несколько десятков МэВ. Например, энергия протонов, ускоренных на циклотроне Лоуренса, достигала 20 МэВ. В составе космических лучей были частицы, обладавшие намного (на много порядков) более высокой энергией. Векслер стал искать возможности, позволяющие повысить достижимые на ускорителях энергии.

Война приостановила эти поиски.

После возвращения из Казани в Москву в ФИАНе по инициативе Вавилова обсуждения возобновились. Речь шла о том, как преодолеть трудности, которые препятствовали достижению высоких энергий. Главной трудностью был так называемый релятивистский барьер — рассогласование частоты обращения частицы в циклотроне и частоты ускоряющего поля; это рассогласование наступало с ростом энергии частицы, и оно определяло предельно достижимую энергию.

В то время Владимир Иосифович был, как всегда, чрезвычайно загружен. На нем лежала подготовка Памирской экспедиции, где все надо было начинать сначала. Но Векслер выкраивал время для того, чтобы обдумать состояние дел в физике ускорителей. Он искал пути к преодолению релятивистского барьера. И ему удалось найти методы ускорения, которые позволили на много порядков повысить энергии, достижимые на ускорителях.

Свое открытие Векслер опубликовал в двух коротких статьях

в журнале «Доклады Академии наук». Первая вышла в №8, а вторая — в №9 за 1944 г.

Первая статья называлась «Новый метод ускорения релятивистских частиц». В ней была предложена схема ускорителя, для которого не существует релятивистского барьера.

Представим себе заряженную частицу, которая в магнитном поле движется по замкнутой круговой орбите. На пути частицы расположена область («ускоряющий промежуток») с переменным электрическим полем. Частота этого поля подбирается равной частоте обращения частицы, а фаза поля подбирается так, чтобы частица при каждом прохождении попадала в ускоряющее поле максимальной величины. Энергия частицы с каждым прохождением увеличивается. Но с ростом энергии растет и период обращения в магнитном поле, так что частица довольно скоро выходит из синхронизма с ускоряющим полем. Это явление и определяет так называемый релятивистский барьер.

Векслер показал, что можно подобрать магнитное поле и амплитуду ускоряющего поля таким образом, что синхронизм частицы с ускоряющим полем не будет нарушен. Такой ускоритель получил впоследствии название микротрон.

Развивая эту идею, Владимир Иосифович пришел к открытию нового принципа ускорения частиц — принципу автофазировки. На примере микротрона в работе было показано, что предлагаемый способ ускорения устойчив.

Вторая статья была продолжением первой и посвящена рассмотрению автофазировки в ускорителе с магнитным полем, растущим во времени. Статья была представлена в ДАН Вавиловым. Ознакомившись с результатами Векслера, Вавилов предложил ему отложить все дела, отправиться в академический санаторий «Узкое» и не возвращаться без подготовленной

к печати статьи, посвященной новому открытию.

«Оно было совершенно неожиданным для физиков», — вспоминает Фейнберг, с которым Владимир Иосифович неоднократно обсуждал свою идею. О неожиданности открытия принципа автофазировки свидетельствует следующий факт. Упомянутые выше две статьи Векслера, представленные на ежегодный конкурс научных работ Института, не были приняты. Заключение жюри было знаменательным: «...если работа Векслера правильная, то не нам давать ему премию, а если не правильная, то тем более, но работа интересная, ее нужно поддержать, пускай еще немного поработает». Вот что пишет академик Фейнберг, входивший тогда в состав жюри конкурса: «Идея была ошеломляющей, и мало кто поверил в ее осуществимость. Ведь В.И. не имел никакого опыта работы с ускорителями и, соответственно, никакого авторитета в этой области» [5].

Заметим, что к началу конкурса эти две работы, посвященные автофазировке, уже были напечатаны. На конкурс были представлены отписки опубликованных статей. Третья статья была опубликована на английском языке в 1945 г. в советском журнале «Journal of Physics USSR».

Она появилась очень вовремя — через несколько месяцев в СССР была запрещена любая публикация в открытой печати статей по ядерной физике, и приоритет Владимира Иосифовича не был бы признан, так как годом позже принцип автофазировки вновь открыл американский физик Э.Макмиллан, не читавший работ Векслера. Однако многие зарубежные физики, в том числе создатель циклотрона Эрнест Лоуренс, были знакомы со статьями Векслера. После появления статьи Макмиллана несколько физиков прислали ему фотокопии статей Векслера. Кроме того, сам Векслер написал короткое письмо в журнал

«Physical Review», где дал ссылки на свои публикации. В письме он также сообщил, что в ФИАНе заканчивается строительство синхротрона на 30 МэВ. Макмиллан в ответ написал Векслеру:

«Хочу снова заверить Вас, что мое кажущееся невнимание к Вашей работе было ненамеренным и что, узнав о ней, я хотел бы отметить, что Ваше открытие предшествовало моему.

С самыми лучшими пожеланиями успеха Вашей машине,  
Эдвин М.Макмиллан» [1. С.352].

### Вступление в эпоху ускорителей

Запрет публикаций, связанных с ядерной физикой в открытой печати СССР, объяснялся тем, что в Советском Союзе начались работы по созданию атомного оружия. Руководство физической частью проекта было возложено на И.В.Курчатова.

Векслер и Макмиллан неоднократно выдвигались на Нобелевскую премию, однако Нобелевский комитет не имел никакой информации о техническом воплощении принципа автофазировки в Советском Союзе. А между тем уже тогда в лаборатории Векслера работал электронный синхротрон на 30 МэВ и полным ходом шло сооружение синхротрона на 250 МэВ. Да и само по себе открытие принципа автофазировки было великим достижением, обеспечившим быстрое развитие физики высоких энергий [6. С.74].

В 1951 г. Макмиллан получил Нобелевскую премию по химии за открытие трансурановых элементов. Но и после этого он вместе с Векслером неоднократно выдвигался на получение Нобелевской премии по физике за открытие принципа автофазировки.

В 1945 г. Владимир Иосифович приступил к работе над созданием ускорителя, основанного на принципе автофазировки. Он привлек к работе двух моло-

дых физиков — экспериментатора, только что окончившего университет Б.Л.Белоусова, и аспиранта-теоретика М.С.Рабиновича [7]. Со столь малыми силами трудно было рассчитывать на быстрое продвижение. Положение, однако, изменилось после того, как появилась статья Макмиллана. Курчатова включил создание ускорителей в план работ по развитию ядерной физики (в Атомный проект).

Решение о постройке синхротрона было крайне смелым. На ускорителях Владимир Иосифович никогда не работал. Приборы такого масштаба, включающие крупные электромагниты переменного тока, большие объемы, откачиваемые до высокого вакуума, мощные высокочастотные устройства, физиками ФИАНа никогда не создавались. И не было у фиановцев опыта не то что строительства, а даже эксплуатации какого-либо ускорителя.

В 1946 г. в ФИАНе была создана новая лаборатория, в задачи которой входило строительство ускорителя, а затем и проведение с его помощью исследований по физике атомного ядра и элементарных частиц. Директором лаборатории был назначен Векслер, поэтому ее так и называли — лаборатория Векслера. Официальное название, продиктованное соображениями секретности, было — Эталонная лаборатория.

В том же 1946 г. Владимир Иосифович Векслер был избран членом-корреспондентом АН СССР.

Перед старым зданием ФИАН построили два корпуса — один для лаборатории Векслера, другой — для лаборатории Франка. Обе были включены в Атомный проект.

Первоначально группа по созданию электронного синхротрона, ускоряющего электроны до энергии 30 МэВ, состояла всего из трех человек: физика Б.Л.Белоусова, инженера Э.Г.Горжевской и лаборанта И.Д.Кедрова.



Вавилов связался с директором Московского трансформаторного завода и договорился об изготовлении магнита для нового ускорителя.

К лету 1945 г. Белоусов провел большую работу: в институте Капицы была изготовлена стеклянная камера, собрана вакуумная установка для ее откачки, изготовлен первый вариант инжектора электронов. Подключение к Атомному проекту дало себя знать. В 1946 г. в группу пришло несколько новых сотрудников, демобилизованных из армии по ходатайству Вавилова (В.Е.Писарев, Б.С.Ратнер, Э.Л.Бурштейн). В Теоретический отдел был принят в качестве аспиранта Фейнберга молодой теоретик Рабинович, в его задачу входило развитие теории ускорителей. Владимир Иосифович приступил к работе. К началу 1947 г. в лаборатории работало уже 19 человек.

Более двух месяцев продолжались попытки запуска ускорителя в бетатронном режиме. Была значительно уменьшена величина фазовой асимметрии магнитного поля, проверено положение орбиты электронов, установлено положение инжектора, получен необходимый вакуум, но ускоритель не работал. Векслера торопили, на него оказывалось сильное давление.

Но, несмотря на это, Владимир Иосифович принял решение — прекратить попытки запуска и приступить к изготовлению нового электромагнита с большей рабочей областью. Это означало задержку с запуском синхротрона на полгода при невыясненных до конца причинах отказа в его работе. Примерно в это же время группа еще раз почувствовала пользу от включения ее работы в Атомный проект. На трансформаторном заводе было образовано конструкторское бюро по созданию электромагнитов для ускорителей. Штат группы Векслера резко увеличился. Уже упоминалось о том, что для лаборатории был построен новый корпус.

Открывалась реальная возможность создания действующего синхротрона. В СКБ был спроектирован и построен новый электромагнит с учетом исследований, проведенных на первом ускорителе.

Синхротрон установили на первом этаже нового здания. В его подвале был собран агрегат питания электромагнита, рассчитанный на частоту 150 герц, там же располагались аккумуляторные батареи, образующие совместно с вторичной обмоткой электромагнита резонансный контур. Была разработана новая система управления электропитанием. Монтаж ускорителя был закончен во второй половине декабря 1947 г.

28 декабря 1947 г. около синхротрона собрались ближайшие сотрудники Векслера. Первое же включение в бетатронном режиме показало устойчивую работу ускорителя. Все бросились качать Владимира Иосифовича. Через две недели ускоритель, получивший название С-3 (в просторечии «Тройка»), уже работал на полную энергию 30 МэВ.

Участники тех событий единодушно отмечали, что в работах по монтажу, наладке и запуску синхротрона С-3 ведущую роль сыграл Белоусов. Рабинович даже считает, что роль Белоусова была решающей.

По воспоминаниям Рабиновича, «это был первый, ну, во всяком случае, самый любимый ученик Владимира Иосифовича...» [7].

Однако вскоре после запуска синхротрона С-3 Б.Л.Белоусов был лишен допуска к секретным работам и вынужден был уйти из ФИАН. Называли какую-то официальную причину. Но основной, скорее всего, была та, что он восстановил против себя главного инженера и его окружение. Векслер не смог отстоять Белоусова и очень переживал случившееся.

«Белоусов был беззаветно предан работе, — вспоминает Рабинович, — и поэтому Вексле-

ру казалось, что без Бори он жить и работать не сможет. Владимир Иосифович ходил очень мрачный» [7].

Физику, лишенному допуска, трудно было найти работу. Векслер пытался помочь Белоусову, но никак не удавалось подыскать подходящее место. В конце концов его взял на работу Артем Исаакович Алиханян. Белоусов стал сотрудником станции по изучению космических лучей, расположенной на горе Арагац. Он работал на Арагаце столь же самоотверженно, как и в ФИАНе. Однажды он пошел на прогулку, заблудился в горах и замерз. Для Владимира Иосифовича это было ударом.

Строительство и запуск ускорителя С-3 стали началом создания ускорителей на все более и более высокие энергии. Через два года, в 1949 г., в Эталонной лаборатории вошел в строй ускоритель электронов на 250 миллионов электрон-вольт (С-25). Началось проектирование ускорителя протонов на гигантскую по тем временам энергию 10 млрд электрон-вольт.

В лабораториях мира стали один за другим входить в строй ускорители на все более высокие энергии. Но строительство их не было самоцелью. Ускоритель — это всего лишь инструмент для исследований. Это очень сложный инструмент, очень дорогой, требующий высокой точности в изготовлении, занимающий много места, потребляющий много энергии. Ускоритель — это инструмент для изучения элементарных частиц и взаимодействия между ними. Сведения, которые могут быть получены на пучках быстрых частиц, имеют большую научную ценность. И эти сведения невозможно было бы получить, не будь ускорителей. Сегодня все понимают, что физика высоких энергий немыслима без ускорителей. Векслер это понимал с ясностью еще тогда, шестьдесят лет назад. На первом синхротроне ускоренные электроны в конце цикла ускорения

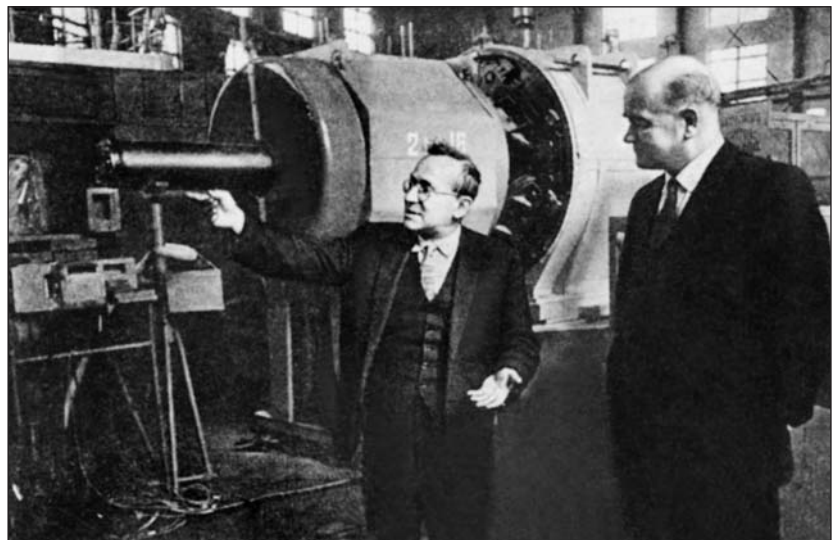
выпускались на мишень и в веществе мишени давали тормозное излучение. Это было излучение непрерывного спектра с верхней границей 30 МэВ. Когда вошел в строй первый синхротрон, работу на нем начали с проверки формулы Бете—Гайтлера для спектра тормозного излучения. Заодно был прокалиброван пучок тормозного излучения. Это позволило в дальнейшем с хорошей точностью определять сечения процессов с участием фотонов высокой энергии. В дальнейшем на синхротроне С-3 изучалось взаимодействие фотонов с атомными ядрами. В частности, был подробно исследован гигантский дипольный резонанс.

Когда был запущен синхротрон на 250 МэВ (С-25), Векслер предложил исследовать фоторождение мезонов. Первые в мире исследования по фоторождению мезонов были выполнены в Эталонной лаборатории. В частности, детально были исследованы сечения фоторождения вблизи от порога.

В 1951 г. Векслеру была присуждена Сталинская премия первой степени за разработку нового принципа ускорения и сооружение первых синхротронов. Сталинская премия была засекречена. О ней ничего не сообщалось в средствах массовой информации. Как тогда было принято говорить, премия была присуждена по закрытой линии.

Часть полученных денег Векслер передал в профбюро лаборатории для премирования сотрудников.

Примерно в это время или несколько раньше стали разворачиваться работы по строительству ускорителя протонов — синхрофазотрона — на энергию 10 млрд электрон-вольт. На территории ФИАНа был построен протонный синхротрон на 180 МэВ. Эта машина играла роль модели, на которой исследовались особенности постройки, наладки и запуска большой машины — ускорителя



С академиком Я.В.Пейве в экспериментальном зале ЛВЭ ОИЯИ.

на 10 млрд электрон-вольт. Исследования велись под руководством В.А.Петухова. В дальнейшем, после запуска 10-миллиардного ускорителя, эта модель была переделана в электронный синхротрон на энергию 800 МэВ, который работает до настоящего времени.

Для строительства синхрофазотрона было выбрано место недалеко от поселка Дубна на Волге, вблизи от Ивановского водохранилища. В этом месте уже работал ускоритель протонов на 680 МэВ. Предполагалось, что синхрофазотрон станет частью комплекса, в котором будет проводиться исследование по физике элементарных частиц, атомного ядра и по физике высоких энергий. Действительно, в 1956 г. в Дубне был создан Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) — международная научная организация, в рамках которой могли проводить научные исследования ученые из многих стран мира. Ускоритель на 10 млрд электрон-вольт, строительство которого тогда еще не было закончено, стал составной частью ОИЯИ. На базе этого ускорителя была организована электрофизическая лаборатория.

Создание такого большого сооружения, как ускоритель на 10 млрд электрон-вольт, потребовало тесного сотрудничества целого ряда организаций — конструкторских бюро, научно-исследовательских институтов, расположенных в разных городах СССР. В Дубне монтировалось оборудование — магнит весом 36 тыс. т, инжектор, вакуумная камера, радиотехническое оборудование. Работы велись в напряженном темпе. То и дело возникали разного рода трудности, или, как их тогда называли, «черепahi», их надо было быстро устранять. Душой и сердцем всех работ был Владимир Иосифович.

В 1957 г. оборудование было смонтировано и начались работы по запуску. Это был большой коллективный труд, в нем принимали участие ближайшие сотрудники Векслера — Л.П.Зиновьев, А.А.Коломенский, В.А.Петухов, Рабинович, В.П.Саранцев, — а также сотрудники Радиотехнического института АН СССР во главе с директором института академиком А.Л.Минцем и сотрудниками Научно-исследовательского института электрофизической аппаратуры (директор Е.Г.Комар). В те дни москвичи Коломенский и Рабинович



Главное здание синхрофазотрона.

больше времени проводили в Дубне, чем в Москве. Нередко люди ночевали в здании ускорителя на раскладушках.

Находились скептики, которые сомневались в том, что ускоритель заработает. В то время появилась мрачная шутка: есть у нас царь-колокол, который ни разу не звонил; есть царь-пушка, которая ни разу не стреляла; а теперь вот еще появился царь-ускоритель, который не ускоряет.

Но все трудности запуска были преодолены, и в 1957 г. 10-миллиардный протонный ускоритель электрофизической лаборатории вступил в строй. Физика высоких энергий получила мощную экспериментальную базу. Позднее лаборатория изменила свое название. Она стала Лабораторией высоких энергий (ЛВЭ). Векслер был назначен директором ЛВЭ. Он оставил пост заведующего Эталонной лабораторией в ФИАНе, передав заведование Рабиновичу. Эталонная лаборатория к тому времени насчитывала несколько сот сотрудников, и ее можно было сравнить с хорошим научно-исследовательским институтом. В лаборатории было три ускорителя,

все три — электронные: С-3, первый советский синхротрон на энергию 30 МэВ; С-25, на энергию 250 МэВ; и ускоритель на энергию 800 МэВ, переделанная модель 10-миллиардного синхрофазотрона, построенного в Дубне. Векслер успешно справлялся с руководством такой большой лабораторией, потому что хорошо знал и физику ускорителей, и физику высоких энергий, и практически каждого человека в лаборатории. Но на определенной стадии пришлось разделить лабораторию на несколько не таких больших, но более специализированных.

### Таланты Векслера

Громадные успехи, достигнутые Векслером в исследовании космических лучей, а потом и в создании ускорительной базы для физики высоких энергий, без сомнения, объясняются его инженерным талантом, поразительной физической интуицией, а также глубокими познаниями в той области, в которой он работал. Но в не меньшей степени они объясняются и его личными

качествами. По складу своего характера он был прирожденный организатор. Эта его способность проявилась в Эльбрусской, а затем и в Памирской экспедиции, когда надо было с нуля наладить работу большого коллектива исследователей. Это же самое качество сыграло определяющую роль в строительстве ускорителей С-3, С-25 и в таком сложном и трудном деле, как монтаж, наладка и запуск огромного ускорителя в Дубне.

Он руководил всеми работами, но в то же время сам работал наравне со всеми участниками, на всех стадиях выполнения работы, с начала и до конца. Никому не читал наставлений, что и как делать, все это показывал на личном примере. У него была удивительная способность заражать людей своим энтузиазмом. Векслер интересовался положением дел у каждого своего сотрудника и всегда был готов, не жалея времени, обсудить полученные результаты, состояние дел и план дальнейших исследований.

В то же время его интересовала не только работа, выполняемая сотрудниками, но также и условия их жизни. Свои возможности руководителя он использовал для того, чтобы сотрудники получали достойную оплату за свой труд, чтобы они жили в благоустроенных квартирах, чтобы могли по доступной цене получать путевки в санатории и дома отдыха и чтобы их дети были устроены в детские сады. Он многим помог. Он был не только выдающимся физиком, но и добрым, заботливым человеком. Помогал нуждающимся студентам, которые и не догадывались, кто именно им помогает. Они расписывались в специально заготовленной ведомости и были уверены, что они получают деньги от государства. Он мог, придя в профсоюзный комитет, заплатить часть денег за путевку для своего сотрудника, который получал эту путевку как льготную, якобы «от профсоюза». Все это приво-



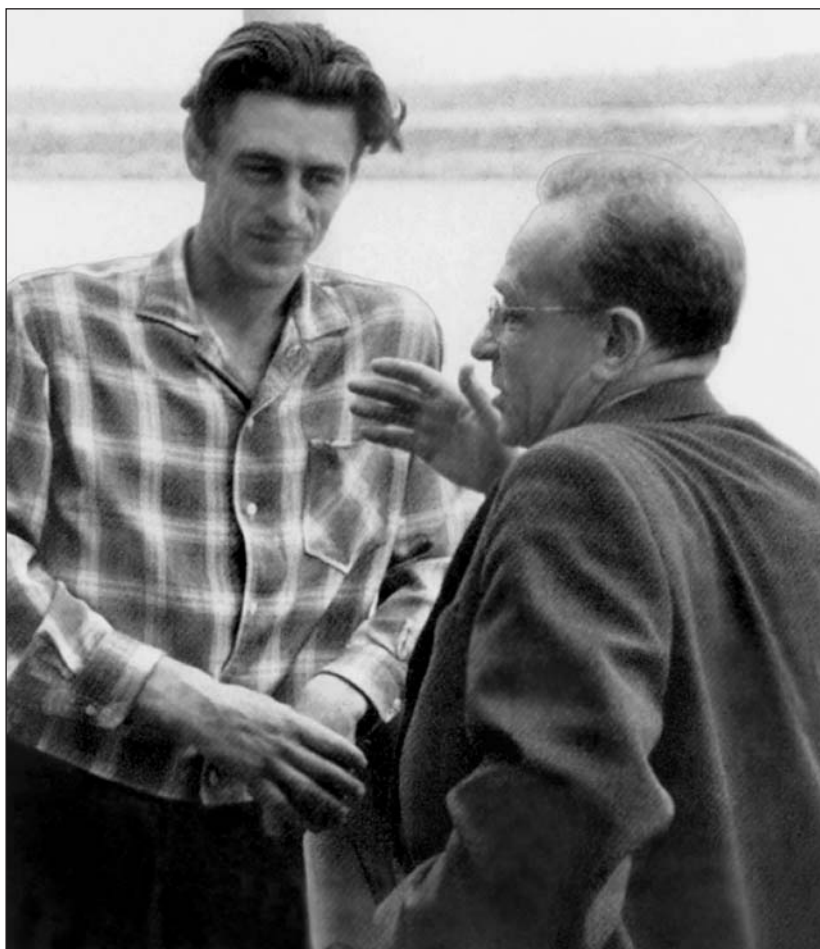
дило к тому, что его отношения с сотрудниками представляли собой нечто гораздо большее, чем просто служебные.

Владимир Иосифович знал классическую и современную литературу, посещал выставки современных художников, любил кино и смотрел практически все выходящие на экран фильмы.

В конце 40-х — начале 50-х годов, примерно в одно время с началом строительства синхрофазотрона на 10 миллиардов электрон-вольт, Владимир Иосифович стал искать новые, нетрадиционные способы ускорения заряженных частиц. Для разработки новых методов ускорения в ЛВЭ было создано специальное конструкторское бюро, которое возглавил В.П.Саранцев [8]. Эти методы ускорения исследовались также в Эталонной лаборатории ФИАНа. Они способствовали тому, что в ФИАНе стали развиваться теоретические и экспериментальные исследования электронной плазмы, а затем и проблемы управляемых термоядерных реакций.

В 1958 г. Векслер был избран действительным членом АН СССР. В 1963 г. Векслеру и Макмиллану была присуждена Международная премия «Атом для мира» за открытие принципа автофазировки. Эта престижная премия была учреждена в США Фондом Форда и присуждается за такие достижения в ядерной физике, которые способствуют мирной жизни и росту благосостояния человечества. Первым ее получил Нильс Бор.

Когда в Академии наук было создано Отделение ядерной физики, он возглавил это отделение и был академиком-секретарем до своей кончины. В 1964 г. Владимир Иосифович основал журнал «Ядерная физика» и стал его главным редактором. Обладая высоким международным авторитетом, он был избран членом, а затем и председателем Комитета по физике высоких энергий Международного союза по чистой и прикладной физи-



С В.П.Саранцевым. 1962 г.

ке. На физическом факультете Московского государственного университета он создал кафедру ускорителей, где прочел первые лекции.

Многолетняя напряженная работа, пренебрежение необходимым отдыхом подорвали здоровье Владимира Иосифовича. В 1965 г. он перенес тяжелый инфаркт. Оправившись, вернулся к работе. Надо было считаться с тем, что он уже не может работать столь же напряженно, как и раньше. Но он часто забывал об этом. Осенью 1966 г. случился второй инфаркт, и 22 сентября 1966 г. Владимир Иосифович Векслер скончался.

Прошло сорок лет. Ускорители, построенные Векслером, продолжают работать, и построено еще немало ускорителей.

Синхрофазотрон ОИЯИ, ускоряющий протоны до энергии в 10 млрд электрон-вольт, давно уже не самый большой в мире. Работа всех современных ускорителей основана на принципе автофазировки. И все они служат экспериментальной базой для физики высоких энергий. За эти сорок лет физика высоких энергий далеко продвинулась в исследовании элементарных частиц и различных взаимодействий между ними. Во многом оправдались слова Э.Ферми, который говорил более полувека назад, что слово «элементарный» в названии «элементарная частица» означает уровень наших знаний. И если теперь физики вышли на более высокий уровень в понимании строения материи, то немалая заслуга в этом

принадлежит человеку, проложившему дорогу ко всем этим достижениям, — Владимиру Иосифовичу Векслеру\*.

\* \* \*

Деятельность Векслера при- шла на годы быстрого развития советской физики. Сегодня развитие физики (как и других наук) в нашей стране по существу лишено государственной поддержки. В научных институтах нет средств на необходимое оборудование, на электроэнергию, на отопление, на оплату производственных площадей. Научные работники получают нищенскую зарплату. Такое положение, по нашему мнению, объясняется двумя причинами.

Во-первых, руководство страной явно недооценивает значение науки, и особенно фундаментальной. От науки, как от добычи нефти, ждут немедленной прибыли: чтобы по три рубля на каждый затраченный рубль и чтобы сегодня же. Поскольку фундаментальная наука такой гарантированной прибылью дать не может, то ее и держат в черном теле, тем самым отрезая стране будущее.

Вторая причина — это молчаливое согласие академичес-

кой элиты с такой позицией высшего руководства. Представители элиты относятся к рядовым представителям научного сообщества более или менее свысока. Они считают, что если разогнать половину или более значительную часть научного сообщества, то наука от этого только выиграет. Это — глубокое заблуждение. Наука от этого ничего не выиграет, но разрушится среда, в которой и из которой вырастают выдающиеся ученые. Тем самым снизится и научный уровень будущих членов Академии наук. Мы употребляем здесь будущее время, но это все происходит уже сегодня. Положение здесь аналогично деятельности селекционера. Нужно засеять целый гектар или несколько гектаров, просмотреть десятки и сотни тысяч созревших растений, чтобы отобрать один-два колоса с нужными свойствами.

Много лет назад одному из нас довелось побывать в Англии, в Оксфордском университете. Условия обучения студентов произвели на гостя впечатление, и он задался вопросом, во что обходится в Оксфорде обучение одного студента. Этот вопрос он задал профессору Энгелю, известному своими работами по электронной плазме. Энгель не назвал сумму расходов. Может быть, он ее и не знал. Но он все же ответил. Это был хороший ответ. Он сказал: «Один Ньютон окупает все затраты».

В позапрошлом веке, в 1872 г., великий русский сати-

рик М.Е.Салтыков-Щедрин опубликовал повесть «Дневник провинциала в Петербурге». Те годы в России были временем реформ. Но наряду с важными и полезными изменениями много было и бесплодных. Салтыков-Щедрин в своей повести приводит проект реформирования Академии наук, составленный подполковником в отставке Дементием Сдаточным. С военной прямотой в проекте говорится о том, что требуется от Академии наук. В частности, президенту Академии вменяется в обязанность «От времени до времени требовать от обывателей представления сочинений на тему “О средствах к совершенному наук упразднению”», с таким притом расчетом, чтобы от сего государству ущерба не произошло и чтобы оно и по упразднении наук соседей своих в страхе содержало, а от оных почитаемо было, яко всех просвещением превзошедшее».

Во времена реформ не только у Дементия Сдаточного, а у многих вышестоящих государственных деятелей возникает желание выкинуть науку за борт. Но в годы Салтыкова-Щедрина Академия устояла. В 1872 г. записка подполковника в отставке Дементия Сдаточного мало у кого вызывала тревогу за российскую науку, а у большинства — улыбку.

Но похоже, что в наши дни сторонники Дементия Сдаточного набрали силу, и «совершенное наук упразднение» уже не за горами. ■

## Литература

1. Владимир Иосифович Векслер. Дубна, 2003.
2. Записки архивариуса. Т.1. Вып.3. Российская Академия Наук, Физический институт имени П.Н.Лебедева. М., 1992.
3. Грибова З.П. Глеб Михайлович Франк. М., 1997.
4. Жданов Г.Б. О физике и физиках XX века. Физический институт им.П.Н.Лебедева. М., 2001.
5. Фейнберг Е.Л. Эпоха и личность. Физики. М., 2003.
6. Блох А.М. «Нобелиана» В.И.Векслера и Е.К.Завойского. // Природа. 2002. №8.
7. Рабинович М.С. Воспоминания. М., 2003.
8. Саранцев В.П. Жизнь, отданная науке. Дубна, 2001.

# Новости науки

## Астрофизика

### Самая яркая сверхновая

Современная теория звездной эволюции предсказывает, что звезды с массами более  $10 M_{\odot}$  заканчивают «жизненный путь» сильным взрывом, который наблюдается нами как вспышка сверхновой. Максимальная яркость вспышки зависит от начальной массы звезды и от того, насколько эффективно она теряет вещество в ходе эволюции. Сверхновые — один из самых интересных астрофизических объектов, поэтому практически каждая из них подвергается глубокому исследованию. Н.Смиту (N.Smith; Калифорнийский университет в Беркли, США) и его коллегам не пришлось жалеть о внимании, уделенном ими сверхновой SN 2006gy<sup>1</sup>.

Эта сверхновая была открыта 18 сентября 2006 г. Вспышка произошла настолько близко к ядру активной галактики NGC 1260, что некоторые исследователи сочли, будто она и есть это ядро. Однако наблюдения, проведенные 4 ноября на 3-метровом телескопе Ликской обсерватории (США), четко показали, что сверхновая отстоит от ядра галактики почти на 1 угловую секунду (что соответствует обычному расстоянию в 1000 св. лет). В характеристиках SN 2006gy сразу же обнаружилось два важных отличия от других подобных объектов. Во-первых, ее светимость нарастала очень медленно. Чтобы достичь максимальной яркости, ей понадобилось не три недели, как другим подобным сверхновым, а больше двух месяцев. Во-вторых, максимум блеска SN 2006gy оказался в несколько

раз ярче самой яркой сверхновой из всех известных до сих пор и в 100 раз ярче типичной сверхновой этого вида. Такой яркости до сих пор не видели еще ни у одной вспышки. Кроме того, период максимального блеска оказался у нее необычно долгим, более трех месяцев (из-за чего ее и спутали изначально с ядром галактики). Невероятно мощное свечение сброшенной оболочки свидетельствует, что ее масса составляет около  $100 M_{\odot}$  — в совокупности со скоростью расширения порядка 4000 км/с это соответствует суммарной энергии взрыва свыше  $10^{52}$  эрг, что в 10 раз больше, чем типичная энергия вспышки сверхновой.

По мнению авторов работы, необычные свойства объекта SN 2006gy указывают на то, что в галактике NGC 1260 взорвалась звезда очень большой массы, вероятно порядка  $110 M_{\odot}$ . Теория предсказывает, что на поздних стадиях эволюции таких светил мощный звездный ветер срывает с них водородную оболочку, обнажая массивное ядро, в котором почти весь водород уже превратился в гелий. Однако этому предсказанию противоречат линии водорода, наблюдающиеся в спектре SN 2006gy. Кроме того, отсутствие заметного торможения выброса сверхновой говорит о том, что вокруг нее нет значительных количеств вещества, сброшенного на предыдущей эволюционной стадии. С другой стороны, она все-таки окружена небольшой «туманной» оболочкой, возможно, остатками звездного ветра звезды-предшественницы. В этом отношении объект, существовавший на месте сверхновой SN 2006gy, мог походить на известную сверхмассивную звезду  $\eta$  Киля, располо-

женную в нашей Галактике. Авторы статьи считают, что появление туманности вблизи звезды-тяжеловеса может быть признаком ее скорого конца, и призывают не сводить с  $\eta$  Киля внимательных глаз.

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

## Техника

### Автосистемы ночного видения

Для пешехода риск оказаться сбитым автомобилем в ночное время вчетверо выше, чем днем: водитель не может использовать фары дальнего света, чтобы не ослеплять водителей встречного транспорта, а при включении ближнего света темный объект можно различить лишь на опасном расстоянии 30—50 м. Системы ночного видения позволяют заблаговременно обнаружить пешеходов, велосипедистов, животных даже при движении с ближним светом. Сейчас разрабатываются системы ночного видения в дальнем и ближнем ИК-диапазонах.

Системы первого типа — пассивные, они фиксируют тепловое излучение с длиной волны  $\lambda = 8—12$  мкм (в этом диапазоне теплые объекты излучают более интенсивный поток и отчетливо различимы на экране). Дорога просматривается на расстоянии 300 м при горизонтальном угле обзора  $36^{\circ}$  и частоте обновления сигнала 30 Гц. Сигнал с тепловых датчиков после цифровой обработки формирует на экране дисплея видеоизображение — высококачественное для людей и животных, отличающихся по температуре от окружающей сре-

<sup>1</sup> <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0612617>



ды, и не столь контрастное для неживых объектов. К недостаткам систем дальнего ИК-диапазона относится невозможность установления датчиков за ветровым стеклом, а к достоинствам — низкая зависимость от погодных условий.

Системы второго типа освещают дорожные объекты излучением с  $\lambda \approx 800$  нм и воспринимают отраженный поток. Они дешевле, поскольку технология их изготовления хорошо отработана на других изделиях, например видеокамерах. К числу их преимуществ относится и то, что такие системы потенциально могут выполнять дополнительные функции, например сигнализировать о сходе с полосы движения. Системы ближнего ИК-диапазона отличаются более высоким разрешением, их можно удобно разместить в автомобиле, но они чувствительны к засветке фарами надвигающегося автомобиля или другими ИК-системами, а дальность обнаружения объекта зависит от его отражательной способности.

Испытания, проведенные в Институте транспортных исследований при Мичиганском университете (США), показали, что по сравнению с системой ближнего ИК-диапазона использование системы дальнего ИК-диапазона увеличивает расстояние, с которого водитель способен различить силуэт пешехода, в три раза (119 и 35 м).

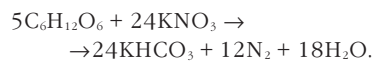
Первая система ночного видения дальнего ИК-диапазона была установлена на модели «Cadillac Deville» в 2000 г., а вслед за этим в 2002 г. оснастили системой ближнего ИК-диапазона «Lexus Toyota». Несмотря на потребительский интерес и оптимистические прогнозы, число продаж систем ночного видения на автомобиле оказалось невысоким. Однако после недавнего появления на BMW 5—7-й серий и на «Honda Legend» системы дальнего ИК-диапазона и системы ближнего на «Mercedes» S-класса ожидается новая волна интереса.

Nature photonics. 2006. September (пробный выпуск). P.12—13 (Великобритания); [http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/6\\_17/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/6_17/index.htm)

## Биохимия

### Фораминиферы могут дышать... нитратами

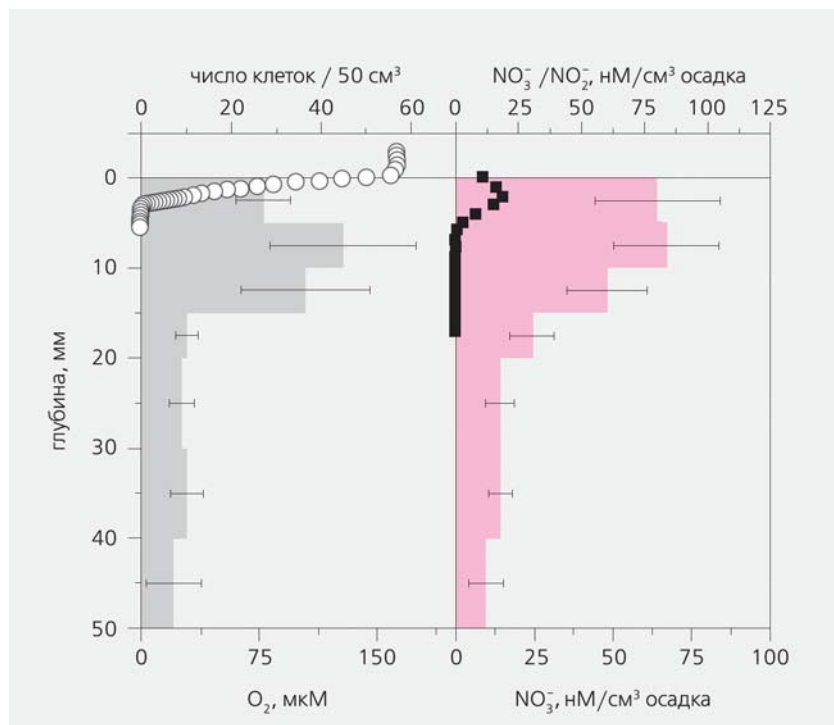
Некоторые бактерии, обитающие там, где нет свободного кислорода (а так нередко бывает на дне водоема или в почве), способны вместо него использовать для окисления органических веществ (углеводов, спиртов, органических кислот) нитраты  $\text{NO}_3^-$ , восстанавливая их до свободного молекулярного азота  $\text{N}_2$ . Такой способ получения необходимой для жизнедеятельности энергии называют денитрификацией, а бактерий, осуществляющих данный процесс, — денитрификаторами. Например, реакция окисления глюкозы за счет нитратов может быть записана как



Денитрификаторы возвращают в атмосферу тот азот, который

когда-то был связан азотфиксаторами. Но если процесс азотфиксации очень древний, возникший, по-видимому, на самых ранних этапах развития биосферы, то денитрификация (замкнувшая ту часть глобального углеродного цикла, которая связана с выходом в атмосферу) могла появиться лишь после того, как другие бактерии, нитрификаторы, стали производить нитраты, окисляя (также для получения энергии) аммонийные соединения. Но это в свою очередь могло произойти в условиях кислородной атмосферы Земли, т.е., согласно современным представлениям, не ранее чем 2.4 млрд лет назад. По-видимому, способность к денитрификации возникла в эволюции не единожды: свойственна она представителям разных групп бактерий, порой совсем неродственных, но оказавшихся в среде, где нет свободного кислорода, а есть нитраты.

До недавнего времени считалось, что все денитрификаторы —



Профили распределения кислорода и численности фораминифер (слева), нитритов и нитратов в воде и в клетках этого простейшего (справа). Кислород обозначен кружками, содержание клеток — в виде серой гистограммы; концентрация  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NO}_2^-$  в воде показана квадратными фигурками, в клетках — розовой гистограммой. (По: Risgaard-Petersen N. et al., 2006.)

бактерии, прокариоты. Поэтому настоящей сенсацией стала статья, опубликованная большой группой исследователей из Дании, Нидерландов, Испании и Швеции об осуществлении денитрификации одноклеточными эукариотами, а именно фораминиферами<sup>1</sup>. Эти организмы, похожие на амёб, но имеющие известковую раковинку, весьма обычны в морях.

Все началось с того, что, изучая верхний слой грунта в одном из фьордов Швеции, эти исследователи обнаружили в верхних 20 мм донных осадков, в анаэробных условиях (кислород там исчезал уже на глубине 2–3 мм), очень много нитрата, и находился он не в воде между частицами грунта, а внутри живых клеток. Но единственными организмами, присутствовавшими там в большом количестве, были фораминиферы *Globobulimina pseudospinescens*, поэтому подозрение пало именно на них, тем более, что распределение численности этих простейших по глубине полностью совпадало с распределением нитратов. Поскольку накопление нитратов в клетке требует немалых энергетических затрат, очевидно, фораминиферам нитраты зачем-то очень нужны.

Предположение о «нитратном дыхании» у фораминифер, обитающих в анаэробных условиях, высказывалось уже 15 лет назад<sup>2</sup>, однако доказательств тогда не было. Авторы обсуждаемой работы эту гипотезу проверяли в лабораторных экспериментах, используя изотоп азота <sup>15</sup>N. Фораминифер помещали в воду, лишенную кислорода, но содержащую меченый нитрат <sup>15</sup>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, и через некоторое время начинал выделяться молекулярный азот с изотопом <sup>15</sup>N. Затем авторы проверяли, не образуется ли N<sub>2</sub> за счет анаэробного окисления аммония по реакции NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup> → N<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O. Этот процесс известен давно, но только три года назад были найдены бактерии,

осуществляющие его в природе, — у верхней границы анаэробной зоны Черного моря<sup>3</sup>. Образующийся в ходе такого окисления молекулярный азот получает один атом от аммония, а другой от нитрита. Еще один способ образования молекулярного азота бактериями — это анаэробное (с помощью нитратов) окисление метана<sup>4</sup>. Однако в опытах с фораминиферами ни анаэробного окисления аммония, ни анаэробного окисления метана не было выявлено.

Авторы, видимо, исходили из того, что денитрификацию в клетках фораминифер могут осуществлять эндосимбиотические бактерии. Поэтому они определили скорость процесса для одной фораминиферы, а потом, зная среднюю денитрифицирующую активность бактериальной клетки, рассчитали, какое количество бактерий должно быть ассоциировано с одной клеткой простейшего. Оказалось, что их должно быть от 5600 до 22 500. Однако с помощью электронной микроскопии и метода флуоресцентной гибридизации исследователи обнаружили, что на поверхности фораминиферы присутствует не более сотни бактериальных клеток, а внутри фораминифер симбиотических бактерий вообще нет. Поэтому был сделан вывод о способности самих фораминифер осуществлять денитрификацию и о протекании этого процесса в митохондриях (органеллах, используемых для обычного — кислородного — дыхания), где и находятся необходимые для него ферменты.

Неполная денитрификация ранее обнаруживалась у трех эукариотических организмов: инфузории *Loxodes* и грибов *Fusarium oxysporum* и *Cylindrocarpum tonkinense*. В анаэробной среде инфузория восстанавливает нитрат до нитритов, а грибы — до оксида азота. Но только фораминиферы — единственные из эукариот — способны сами, без помощи симбиотических бактерий, осуществ-

лять полную денитрификацию: от нитрата до образования молекулярного азота. Пока, правда, остается неизвестным, насколько распространена среди фораминифер эта способность (в данной работе денитрификация выявлена еще у *Nonionella cf. stella* и *Stainforthia* spp.), ни когда она возникла и каков ее вклад в биосферный цикл азота.

© Гиляров А.М.,  
доктор биологических наук  
Москва

## Химия. Медицина

### Применение нанотрубок в диагностике рака

Американские специалисты из университетов Джефферсона и штата Делавер, возглавляемые К.Текером, сделали первый шаг к созданию на основе нанотрубок системы диагностики рака<sup>5</sup>. Они изучили взаимодействие нанотрубок с антителами — белками класса иммуноглобулинов, которые иммунная система вырабатывает в ответ на появление в организме чужеродных веществ (антигенов). Одно из наиболее важных свойств этих белков — специфичность: каждый из них избирательно взаимодействует с определенным антигеном.

Сначала исследователи с помощью поверхностно-активных веществ эффективно разделили нанотрубки. Затем на каждую из них нанесли люминесцентную метку, чтобы легче было изучать связывание нанотрубок антителами методом конфокальной (люминесцентной, усовершенствованной с помощью конфокальной диафрагмы) микроскопии. Нанотрубки взаимодействовали с антителами, специфичными к рецепторам, расположенным на поверхности клеток рака молочной железы человека. Оказалось, что степень связывания для протяженного образца очень высока — более 80%.

Кроме того, экспериментаторы научились обнаруживать антитела, используя полевые транзис-

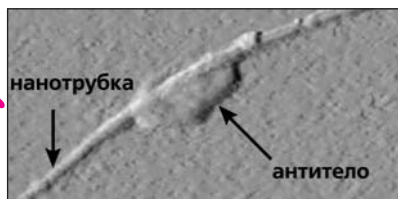
<sup>1</sup> Risgaard-Petersen N., Langezaal A., Ingvarsdson S. et al. // Nature. 2006. V.443. P.93–96.

<sup>2</sup> Bernhard J.M., Reimers C.E. // Biogeochemistry. 1991. V.15. P.127–149.

<sup>3</sup> Kuypers M.M., Sliemers A.O., Lavik G. et al. // Nature. 2003. V.422. P.608–611.

<sup>4</sup> Подробнее см.: <http://elementy.ru/news/430204>

<sup>5</sup> Teker K. et al. // IEEE Sensors J. 2006. V.6. P.1422–1428.



Нанотрубка с присоединенным антителом. Изображение получено с помощью атомного силового микроскопа.

торы на основе одностенных нанотрубок. Антитела, содержащиеся в специальном растворе, адсорбировались на нанотрубках, что влекло за собой изменение проводимости канала транзистора: она снижалась тем заметнее, чем выше была концентрация антител.

Исследователи также считают, что с помощью устройств на одностенных нанотрубках можно выявлять живые раковые клетки в биологических жидкостях неинвазивным методом. Он основан на взаимодействии характерных поверхностных маркеров, часто выделяемых циркулирующими раковыми клетками, с адсорбированными антителами. Такое взаимодействие может привести к изменению проводимости, соответствующему концентрации маркеров.

Таким образом, открыта еще одна область применения нанотрубок — онкология.

[http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/6\\_20/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/6_20/index.htm)

## Генетика

### Расшифрован геном медоносной пчелы

До настоящего времени были установлены полноразмерные геномы только трех видов насекомых: плодовой мушки (*Drosophila melanogaster*), малярийного комара (*Anopheles gambiae*) и тутового шелкопряда (*Bombyx mori*). Теперь к этому краткому списку добавилась медоносная пчела<sup>1</sup> (*Apis mellifera*). Расшифровкой ее генома в течение четырех лет занимались

<sup>1</sup> Weinstock G.M. et al. // Nature. 2006. V.443. №26. P.931—949.

170 ученых из 14 стран мира. Руководили этой коллаборацией генетик Дж.Вайнсток (G.M.Weinstock; Медицинский колледж в Хьюстоне) и нейробиолог Дж.Робинсон (G.E.Robinson; Университет Иллинойса).

Как выяснилось, геном пчелы имеет ряд особенностей, часть из которых мы приводим. Он более схож с геномами позвоночных, а не дрозофилы и комара. Особенно это касается генов, отвечающих за циркадные ритмы, интерференцию микроРНК и метилирование ДНК.

У *A.mellifera* меньше, чем у плодовой мушки и комара, генов, ответственных за формирование покровов, врожденный иммунитет, вкусовые рецепторы и ферменты детоксикации<sup>2</sup>, но больше генов обонятельных рецепторов. Новыми оказались гены переработки нектара и пыльцы. Это связано с экологическими особенностями медоносной пчелы и социальной организацией семьи.

Эволюционно новы также девять генов, кодирующих белки маточного молочка. Произшедшая от одного древнего гена<sup>3</sup>, эта группа участвует в регуляции таких функций в пчелиной семье, как воспитание маток и пчелиного расплода.

Не обнаруженные ранее у дрозофилы и комара гены микроРНК неодинаково работают у пчелы как в разных ее кастах, так и на разных стадиях развития. Существование подобного механизма усиливает социальное разделение в пчелиной семье.

По генетической детерминации пола<sup>4</sup>, количеству генов секреторируемых клетками мозга нейрорептидов, которые модулируют нейронную активность и поведение насекомых<sup>5</sup>, медоносная пчела оказалась сходна с дрозофилой. В геноме *A.mellifera* обнару-

<sup>2</sup> Claudianos C. et al. // Insect Molecular Biology. 2006. V.15. №5. P.615—636.

<sup>3</sup> Drapeau M.D. et al. // Genome Research. 2006. V.16. P.1385—1394.

<sup>4</sup> Cho S. et al. // Genome Research. 2006. V.16. P.1366—1375.

<sup>5</sup> Hummon A.B. et al. // Science. 2006. V.314. №27. P.647—649.

жено несколько семейств генов, отличающихся размерами от известных у других насекомых как в большую, так и в меньшую сторону. Эти гены не образовывались *de novo*, а стали результатом удвоения предкового гена. Всего у пчелы обнаружено 60 дупликаций, отсутствующих у других насекомых.

У медоносной пчелы было идентифицировано 1136 SNP-сайтов (single-nucleotide polymorphism — однонуклеотидный полиморфизм). На их основе проведен филогенетический анализ 10 подвидов *A.mellifera* и подтверждено существование четырех эволюционных ветвей (M, C, O и A), выделенных по морфометрическим характеристикам Ф.Рутгером около 30 лет назад. Примечательно, что подвиды ветви M (*A.m.mellifera* и *A.m.iberiensis*) оказались значительно более сходны с африканскими (*A.m.intermissa*, *A.m.scutellata* и *A.m.lamarckii*; ветвь A), чем с географически близкими подвидами Восточной Европы (*A.m.ligustica* *A.m.carnica*; ветвь C).

В дальнейших исследованиях была не только подтверждена гипотеза африканского происхождения вида *A.mellifera*, но и предложены пути его проникновения в Евразию: через Испанию в Центральную Европу и Россию; в Восточную Европу через Альпы, а затем в Азию<sup>6</sup>.

Недавно появилось доказательство древности надсемейства Apoidea: в Бирме найдена сохранившаяся в янтаре ископаемая пчела, которую назвали *Melittosphex burmensis*<sup>7</sup>. Возраст находки оказался равным примерно 100 млн лет.

Таким образом, расшифровка генома медоносной пчелы уже принесла много новых интересных данных об этом социальном насекомом.

© Никоноров Ю.М.,  
Беньковская Г.В.,

кандидаты биологических наук

© Удалов М.Б.

Уфа

<sup>6</sup> Whitfield C.W. et al. // Science. 2006. V.314. №27. P.642—645.

<sup>7</sup> Poinar G.O. et al. // Science. 2006. V.314. №27. P.614.



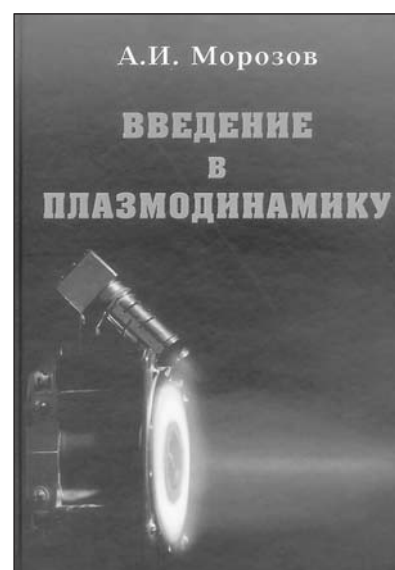
# Физика плазмы глазами одного из ее основоположников

А.Б.Михайловский,  
 доктор физико-математических наук  
 РНЦ «Курчатовский институт»  
 Москва

Автор книги, А.И.Морозов, — физик мирового класса, который уже в течение полувека обогащает науку и технику результатами своих основополагающих теоретических и экспериментальных исследований. Многие его идеи и разработки воплощены в жизнь, другие ждут своего часа. Его научные интересы весьма широки. Они включают плазменные ускорители, плазмооптику, магнитное удержание плазмы, а в целом выходят далеко за пределы физики плазмы, простираясь до фундаментальных проблем философии науки. Морозов стал единственным из российских ученых, награжденным медалью Общества электрических реактивных двигателей. Эта высокая награда является благодарностью лишь космической части мирового научно-технического сообщества. Но велик вклад ученого и в земные приложения физики плазмы, равно как и в закладку краеугольных камней теории плазмы. Например, в обиходе современной физики плазмы фигурирует «плазмооптика». Как этот термин появился в обиходе? Благодаря Морозову, который и явился основоположником соответствующего раздела физики плазмы.

Путевку в науку Морозову дали академики М.А.Леонтович и Л.А.Арцимович. Он является одним из самых выдающихся учеников Леонтовича. Начав свою работу в науке в качестве

чистого теоретика, он в течение нескольких лет совместно со своим коллегой Л.С.Соловьевым занимался развитием основ теории удержания плазмы в магнитно-термоядерных системах. Одним из результатов этой работы стало предсказание возможности возникновения магнитных островов в таких системах, что впоследствии было подтверждено экспериментально. И когда перед Леонтовичем встала проблема сформировать авторский коллектив для написания многотомной книги «Вопросы теории плазмы», одним из тех, кого он пригласил, был Морозов. Эта книга в дальнейшем стала играть роль букваря по теории плазмы для всех, кто в той или иной мере соприкасался с плазмой, причем не только у нас в отечестве, но и во всех зарубежных странах. Затем с просьбой к Морозову обратился Арцимович. Это было вызвано необходимостью помочь С.П.Королеву в разработке электрореактивных двигателей для космических аппаратов. Просьба заключалась в том, чтобы Морозов часть своего времени стал уделять экспериментальным исследованиям по проблеме таких двигателей в качестве научного руководителя. Он положительно откликнулся на эту просьбу Арцимовича. Как следствие всего вышесказанного, основными вехами творческой биографии Морозова явились многочисленные достижения как в эксперименте, так и в теории. Последние были связаны, с одной стороны,



А.И.Морозов. ВВЕДЕНИЕ В ПЛАЗМОДИНАМИКУ.

М.: Физматлит, 2006. 576 с.

с плазменными ускорителями, а с другой — с проблемой управляемого термоядерного синтеза. Область научных интересов Морозова расширялась также вследствие необходимости подготовки курса лекций на физическом факультете МГУ, который он читал более 20 лет. В результате он стал носителем весьма внушительного объема плазмофизической и «околоплазмофизической» информации. Рецензируемая книга стала фиксацией «выжимок» этой информации, поэтому ее издание представляется весьма важным событием в жизни российского физического сообщества. Вместе с тем это событие оказывается весьма отрадным в контексте преодоления трудностей, переживаемых современной российской наукой и укрепления ее международных позиций: я не вижу чего-либо сопоставимого по значению с книгой Морозова, но изданного за пределами России.

Название книги «Введение в плазмодинамику» требует некоторых разъяснений. Здесь есть два смыслообразующих термина: «введение» и «плазмодинамика». О резонности первого ясно уже из его сопоставления с нашим несколько более грубым термином «выжимки». Автор аргументирует резонность этого термина в более развернутом виде:

«Прежде всего, это действительно введение. Оно должно познакомить читателя с терминами, основными экспериментальными фактами и основными «базовыми» моделями — системами уравнений, описывающих большие группы плазмодинамических процессов. «Введение» на конкретных примерах должно показать, как этими моделями пользоваться, и, наконец, ознакомить читателя с конкретными их реализациями — образцами современных плазменных технологий. Таким образом, хотелось бы, чтобы, освоив данное «Введение», читатель имел достаточно широкий

кругозор, приступая к изучению специальной литературы».

Использование термина «плазмодинамика», а не «физика плазмы» представляется в определенной степени резонным потому, что, как отмечает автор, в книге много внимания уделяется течениям плазмы. Последние же, в свою очередь, являются следствием наличия в плазме значительных электрических полей. Поэтому книга как бы раздвигает горизонты традиционной физики плазмы, изучающей магнито-плазменные равновесия в пренебрежении электрическими полями и учитывающей их лишь при анализе возмущений таких равновесий. В этом контексте можно сказать, что предмет книги есть нечто большее, чем то, что обычно понимается под физикой плазмы. Поэтому то, что Морозов называет «плазмодинамикой», можно было бы назвать «расширенной физикой плазмы». Однако он предпочел первое. В последующем изложении мы будем следовать терминологии автора. Он вводит также термин «общая плазмодинамика», понимая под этим физическую дисциплину, включающую физику плазмы и некоторые другие соприкасающиеся с ней дисциплины. О необходимости иметь дело с «общей плазмодинамикой» и о ее взаимосвязи с другими дисциплинами автор говорит так:

«Физику твердого тела или электродинамику во многих случаях можно изучать, вообще ничего не зная о плазме. Но с плазмой так не получается. В любом эксперименте приходится сталкиваться с взаимодействием плазмы с твердыми телами (электродами, стенками, зондами) и с процессами излучения в широком диапазоне длин волн и т.п. Поэтому общая плазмодинамика должна включать в себя в той или иной степени все разделы физики».

Морозов руководствуется соображениями, что его книга представляет собой введение именно в общую плазмодинами-

ку, а не в физику плазмы в общепринятом понимании последней. Эти соображения учтены им и в содержании книги.

Автор подчеркивает разнообразие различных форм реальной плазмы и использование представлений о плазменных процессах в целом ряде смежных областей физики:

«...Плазма фактически является связующим звеном различных форм вещества от разреженного газа до предельно плотных субстанций. Поэтому не удивительно, что аналоги плазменных процессов прослеживаются и в других средах. И не зря появились набирающие силу термины “плазмоподобные среды” (полупроводники, металлы, электролиты), “кварк-глюонная плазма”, хотя в последнем случае речь идет о качественно отличной субстанции черных дыр».

Обратим внимание читателя на еще один пример «плазменных аналогий», рассмотренный в книге:

«Ярким примером таких подобных является прямая (формальная) аналогия нелинейных дрейфовых вихрей в неоднородной плазме с циклонами и антициклонами в атмосфере Земли и планет (в частности, с Большим Красным Пятном на Юпитере) и далее с динамикой ряда спиральных туманностей».

Свой весьма неполный обзор «плазменных аналогий», обсуждаемых в книге, мы завершим, апеллируя к ее следующему фрагменту:

«...Можно привести пример и более отдаленной аналогии. Так, учитывая, что ньютоновское гравитационное взаимодействие подобно кулоновскому, — но без “зарядов” двух знаков, многое из плазмодинамики может быть перенесено на описание скопления гравитирующих масс, таких как... кольца планет. Этот подход, в частности, привел А.М.Фридмана к предсказанию существования спутников Урана, которые вскоре были обнаружены американ-

ским межпланетным зондом «Вояджер» в 1986 году».

Основной материал книги представлен во введении и последующих 10 главах, о которых будет сказано ниже.

Во введении к книге можно найти все то, что обычно и пишется во введениях к монографиям. Но помимо этого, здесь есть и фрагмент, аналог которого вряд ли можно найти в каких-либо других монографиях. Этот фрагмент имеет характер эссе. Его заголовок таков: «Об истории плазменных исследований». Эта история разделена на три временных интервала. Первый из них начинается с середины XVIII в. и завершается концом 20-х годов XX в., второй касается событий 30-х и 40-х годов, а третий — 50-х и 60-х. В этом эссе сконцентрирована весьма обширная информация научно-исторического характера. Можно предположить, что она кропотливо собиралась автором в течение весьма длительного времени с использованием обширного массива документов и была дополнена не менее обширным массивом того, что хранилось в памяти Морозова как свидетеля и активного участника событий. В рамках эссе читатель обнаружит также четыре фотогалереи портретов ученых, имеющих отношение к научной дисциплине, излагаемой в книге. Суть этих фотогалерей разъяснена в следующих подписях под ними: «Основоположники гидро-плазмодинамики», «Пионеры управляемого термоядерного синтеза», «Основоположники классической космодинамики» и «Основоположники космических электрореактивных двигателей».

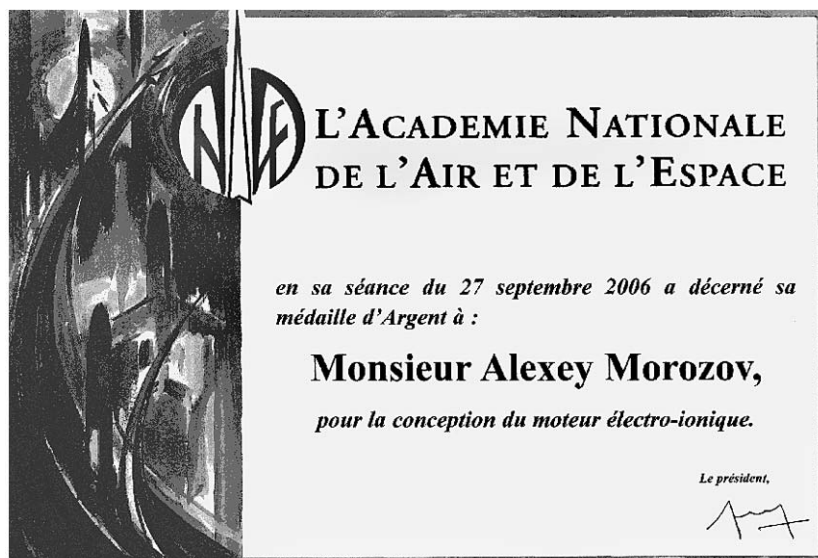
Комментируя свои «портретные галереи», автор, в частности, отмечает:

«Конечно, всех изобразить здесь невозможно. Поэтому выбор портретов отчасти субъективен. Будем надеяться, что другие сделают это лучше».

Заметим также, что в восьмой главе есть еще три портре-



Алексей Иванович Морозов награжден медалью Французской национальной академии авиации и космонавтики.



та. Кто на них изображен и за какие достижения — об этом ниже.

Морозов отмечает трудность, которую ему пришлось преодолевать при решении проблемы выбора принципов систематизации материала:

«Обычно курсы физики плазмы строятся в виде разбора конкретных процессов в плазменных конфигурациях, выбранных достаточно произвольно. Но поскольку «простых» плазменных систем не бывает, то внимание авторов сосредоточивается на нескольких системах, чаще всего на однородной плазме (волны) или на «термоядерных» установках (токамак и т.п.). Ясно,

что для сколь-нибудь общего обзора плазменных явлений (и технологий) такой путь неприемлем. В основу «Введения» мы положим рассмотрение принципов моделирования, или, другими словами, принципов построения иерархии «базовых» моделей, их взаимоотношений друг с другом, а также демонстрации их работы».

В итоге в книге появились 10 глав, наименованные так:

1. Поля, частицы, блоки (нуль-мерные модели).
2. Одножидкостные модели плазмы.
3. Двужидкостные гидродинамические модели плазмы.



4. Бесстолкновительные кинетические модели процессов в плазме. Уравнения Власова—Максвелла.
5. Кинетика двухкомпонентной плазмы при классических столкновениях.
6. Плазменные процессы с трансформацией частиц и излучением.
7. Взаимодействие плазмы с поверхностями твердых тел.
8. Неустойчивости и самоорганизация плазодинамических систем.
9. Процессы в космосе и плазодинамика.
10. Примеры современных плазменных технологий.

Содержимое большинства глав в достаточной степени прокомментировано самим автором, что облегчает работу рецензента. Морозов, в частности, отмечает:

«...В начале у нас появляется раздел, посвященный структурам (морфологии) магнитных полей, одночастичным и нульмерным (блочным) моделям плазмы. [Очевидно, здесь идет речь о содержимом главы 1. — А.М.] Затем последовательно рассматриваются однокомпонентные и двухкомпонентные модели [это относится к главам 2 и 3. — А.М.], затем различные кинетики [это — о главах 4 и 5. — А.М.], процессы ионизации и переноса излучения [здесь слегка конкретизируется содержимое главы 6. — А.М.], наконец, описываются взаимодействия плазмы со стенкой» [так слегка переформулируется название главы 7. — А.М.]. Затем автор разъясняет возможности, которые открываются при использовании упомянутых базовых моделей. Мы дополним соответствующий авторский комментарий указанием на то, что далеко не в каждой монографии по физике плазмы можно найти что-либо, относящееся к тематике шестой и седьмой глав.

Касаясь содержимого восьмой главы, автор пишет, что в ней «рассматриваются некото-

рые общие вопросы, связанные с колебаниями в плазодинамических системах». При таком лаконизме читателю трудно определить, в чем состоит изюминка этой главы. Чтобы помочь читателю приблизиться к разрешению этого вопроса, обратимся к портретам, фигурирующим там. На них изображены Дж.С.Рассел, А.М.Обухов и Б.А.Трубников. В восьмой главе разъясняется, что Рассел попал в книгу благодаря тому, что он первым наблюдал солитоны, впоследствии ставшие одним из центральных предметов исследования нелинейной физики, а вместе с тем — и нелинейной плазодинамики. Портрет Обухова представлен в качестве фрагмента «тандема» Чарни—Обухов. Имена этих двух ученых послужили основой термина «уравнение Чарни—Обухова», широко используемого как в плазодинамике, так и за ее пределами. Наконец, портрет Трубникова оказался в книге в связи со знаменитым «списком Трубникова», характеризующим совокупность так называемых «квазичаплыгинских сред». За всем этим стоит обширный круг явлений, названных автором общим термином «самоорганизация плазодинамических систем».

Содержимое девятой главы так прокомментировано автором:

«В данной главе коротко описаны некоторые типичные плазменные и не только плазменные космические образования. При этом особое внимание будет, с одной стороны, обращено на специфику ряда космических явлений, а с другой — на наличие нетривиальных аналогий между космическими процессами и «классической» динамикой плазмы в лабораторных условиях».

К сказанному добавим, что под «плазменными космическими образованиями» он подразумевает, прежде всего, магнитосферу Земли и Солнце. О последнем автор пишет так:

«Это не просто “термоядерный реактор над головой”, как часто говорят, но и сложнейший МГД-генератор токов и магнитных полей».

Содержимое последней, десятой главы Морозов обрисовывает так:

«Здесь... основное внимание будет идти о системах, принявших “товарный” вид, в том числе о плазме в быту и медицине, в технологиях, включая синтез ювелирных алмазов, и о электрореактивных космических двигателях. ...Мы обрисует современные технические решения основных термоядерных схем... остановимся на возможностях, которые скрывают многозарядные ионы в фундаментальной физике».

Подытоживая материал десятой главы, автор прогнозирует:

«...В XXI веке плазма станет фундаментальным компонентом “суммы технологий” человечества. А сейчас все освоенное — это только первые шаги в плазменное эльдорадо».

Вспоминая Леонтовича, Морозов писал:

«Леонтович видел свою задачу в создании теоретической физики плазмы как цельной науки, а не в том, чтобы блеснуть тем или иным частным результатом. Поэтому его деятельность была направлена на формирование коллектива исследователей, способных всесторонне застраивать этот “этаж” физики в тесной увязке со всем зданием. По этой же причине он считал своим важнейшим делом стимулировать написание ведущими специалистами обзоров по различным вопросам».

Морозов — один из этой когорты исследователей. Оглядываясь на вышесказанное о его книге, заключаем, что он в полной мере унаследовал видение своего Учителя в отношении того, каким должен быть характер деятельности ученого. Книга Морозова — это пример «застройки» соответствующего «этажа» физики «в тесной увязке со всем зданием». ■

## Биология

**А.Б.Савинов.** БИОСИСТЕМОЛОГИЯ (системные основы теории эволюции и экологии): Учеб. пос. Н. Новгород: ННГУ, 2006. 205 с.

Учебное пособие предназначено для преподавателей и студентов биологического, а также физико-математического факультетов, на которых изучаются теория систем и управления, кибернетика.

Материалы книги призваны показать, что в современных условиях изучение интегративных дисциплин — теории эволюции и экологии — целесообразно основывать на методологии системно-кибернетического подхода к объектам биосферы. Исходя из этого, предложено развивать новое научное направление — биосистемологию, в рамках которого надо рассматривать вопросы организации, функционирования и эволюции биологических систем разных уровней (субклеточного, клеточного, организменного, популяционного, биоценотического) в группах организмов различных рангов, всех царств живой природы. В учебнике подробно излагаются и обобщаются современные представления о биосистемах на примерах реальных видов организмов, их популяций и биоценозов. Рассматриваются прикладные аспекты биосистемологии (системные принципы экологического мониторинга).

Используемый автором книги термин «биосистемология» образован не для обозначения одного из ответвлений системологии, а происходит от двух слов: биосистема (биологическая система) и *logos* (в переводе с греч. — наука), дословно — наука о биологических системах. Под биологическими системами в данном случае подразумевается совокупность материальных систем разного уровня организации, представляющих разные

царства живой природы, и обладающих свойствами, специфическими для живой материи.

## Геология

**Ю.М.Пущаровский.** ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ: Тектоника Земли. Этюды. В 2 т. Отв. ред. Ю.Н.Разницын. М.: Наука, 2006.

В издании представлены основные работы академика Ю.М.Пущаровского, касающиеся различных аспектов тектоники континентов, океанов и Земли в целом.

В первом томе собраны статьи, посвященные общетектонической проблематике. Сюда входят такие вопросы, как структурная асимметрия Земли и направленность ее тектонического развития; роль нелинейных факторов в тектогенезе; строение, тектоника и геодинамика мантии Земли; объем тектоносферы; обособленное движение континентов как основной фактор, определяющий главные черты структурного плана нашей планеты; неотектоника океанов и ряд других.

Во второй том включены публикации по океанской тектонике, освещающие результаты исследований, выполненных до 2005 г. Большое внимание уделено тектоническому районированию Тихого, Атлантического и Индийского океанов с проведением сравнительно-тектонического анализа. Сделан вывод о том, что в Индийском океане ярко проявлена рассогласованность структурного плана дна, вызванная воздействием на океаногенез большого спектра нелинейных геодинамических факторов.

Наряду с мелкомасштабным районированием, в книге обращается внимание на среднемасштабное геологическое картирование наиболее изученных участков океанского дна, которое открывает новые пути к модельным построениям струк-

турного развития мирового океана. Конкретная разработка такого рода выполнена в отношении центральной части Атлантического океана. Ряд статей посвящен геодинамике спрединга, отличающейся неустойчивостью режима и отражающей большую изменчивость глубинной энергетики.

## История науки

РЫЦАРЬ СВЕТЛОГО ОБРАЗА. К СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ДАВИДА ЛЬВОВИЧА АРМАНДА. Ред.-сост. А.Д.Арманд. М.: ИГ РАН, НИА—Природа, 2006. 170 с.

В книге собраны доклады, выступления, воспоминания и архивные материалы, освещающие жизнь, научное творчество и общественную деятельность Д.Л.Арманда (1905—1976).

Давид Львович считал «своими» проблемами разработку закона об охране природы — среды обитания животных, растений и самого человека, борьбу с водной и ветровой эрозией, безотходное промышленное производство, введение севооборотов на целине, травосеяние, снегозадержание на полях, усовершенствование сельскохозяйственной техники, улучшение использования пахотных земель, земельный кадастр — трудно все перечислить.

Арманд более 40 лет трудился в Институте географии Академии наук СССР. Здесь же работают многие его коллеги и ученики. По их инициативе в апреле 2005 г. в Институте состоялось заседание Ученого совета, посвященное столетнему юбилею Давида Львовича. Основу книги составляют материалы этого заседания и дополнительно собранные документы и свидетельства. Они характеризуют не только творчество выдающегося ученого, его личность и время, в которое он жил, но также и развитие областей географической науки.

# Мрачное очарование «Гиперболоида...»

В.П.Борисов,

доктор технических наук

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

*«Первый удар луча пришелся по заводской трубе, — она заколебалась, надломилась посреди-не и упала. Но это было очень далеко, и звук падения не был слышен.*

*Почти сейчас же влево от трубы поднялся столб пара над крышей длинного здания, порозовел, перемешался с черным дымом. Еще левее стоял пятиэтажный корпус. Внезапно все окна его погасли. Сверху вниз, по всему фасаду, побежал огненный зигзаг, еще и еще. <...>*

*Они обернулись. Теперь был виден весь завод, раскинувшийся на много километров. Половина зданий его пылала, как картонные домики. Внизу, у самого города, грибом поднимался серо-желтый дым. Луч гиперболоида бешено плясал среди этого разрушения, нащупывая самое главное — склады взрывчатых полуфабрикатов. Зарево разливалось на полнеба. Тучи дыма, желтые, бурые, серебряно-белые снопы искр взвивались выше гор.*

*— Ах, поздно! — закричал Вольф.*

*Было видно, как по меловым лентам дорог ползет из города какая-то живая каша. Полоса реки,*

*отражающая весь огромный пожар, казалась рябой от черных точек. Это спасалось население, — люди бежали на равнину.*

*— Поздно, поздно! — кричал Вольф. Пена и кровь текли по его подбородку.*

*Спасаться было поздно. Травянистое поле между городом и заводом, покрытое длинными рядами черепичных кровель, вдруг поднялось. Земля вспучилась. Это первое, что увидели глаза. Сейчас же из-под земли сквозь щели вырвались бешеные языки пламени. И сейчас же из пламени взвился ослепительный, никогда никем не виданной яркости столб огня и раскаленного газа. Небо точно улетело вверх над всей равниной. Пространства заполнились зелено-розовым светом. Выступили в нем, точно при солнечном затмении, каждый сучок, каждый клоч травы, камень и два окаменевших белых человеческих лица.*

*Ударило. Загрохотало. Поднялся рев разверзшейся земли. Сотряслись горы. Ураган потряс и пригнул деревья. Полетели камни, головни. Тучи дыма застлали и равнину...»*

Признаюсь, при чтении в юном возрасте романа А.Н.Толстого фантастическая картина, нарисованная писателем, произвела неизгладимое впечатление. Образ тонкого луча, разрушающего все на своем пути, будоражил воображение, навсегда оставаясь в памяти.

Роман «Гиперболоид инженера Гарина» был опубликован в 1927 г., и, значит, не одно поколение молодых людей испытало схожие чувства, окунувшись в видения социальной фантастики. Только ли молодежь зачитывалась произведением Толстого, не был ли круг почитателей данного жанра значительно шире?

Этот вопрос показался мне отнюдь не праздным после зна-

комства с рядом документов и публикаций, посвященных развитию отечественной радиоэлектроники в 1930-е годы. Цепь событий, о которых идет речь и которые драматическим образом сказались на судьбах участвовавших в них людей, в кратком изложении выглядит следующим образом.

Начиная с 1932 г. Ленинградский электрофизический институт (ЛЭФИ), возглавляемый академиком А.А.Чернышевым, стал замечать признаки, как теперь говорят, «наката» со стороны ряда руководящих органов, в первую очередь Совета труда и обороны. К этому времени ЛЭФИ пользовался известностью как одна из лучших научных организаций, выполняющая на высоком уровне исследо-

вания и разработки и приносящая большую пользу народному хозяйству страны. Разработки института по оборудованию высоковольтных сетей, по свидетелю А.Ф.Иоффе и М.А.Шателена, на четверть века опередили зарубежные достижения в этой области. Успешно велись исследования по широкому кругу проблем электрофизики. В ЛЭФИ сложился коллектив высококвалифицированных ученых, в число которых входили будущие академики Н.Н.Андреев, Н.Д.Девятков, Ю.Б.Кобзарев, В.В.Мигулин, Н.Д.Папалекси, А.Н.Шукин, профессора В.П.Вологдин, Д.А.Рожанский (оба — будущие члены-корреспонденты АН СССР) и другие.

Несмотря на все достижения, в институте ходили слухи о го-



товящейся коренной реорганизации, и эти слухи в конце концов подтвердились. В середине 1935 г. правительством было принято решение о передаче ЛЭФИ в ведение Народного комиссариата авиационной промышленности. Директором института был назначен сотрудник Совета труда и обороны Н.И.Смирнов, его первым заместителем по научной работе стал известный ученый, член-корреспондент АН СССР М.А.Бонч-Бруевич. Академику А.А.Чернышеву была предложена должность второго заместителя директора, от которой он отказался, уволившись в том же году. Институт стал «закрытой» организацией, носящей наименование НИИ-9, тематика исследований и разработок существенно изменилась. Вновь созданный НИИ-9 получил весомые льготы: оклады значительно повышались, сотрудники имели возможность бесплатно обедать и ужинать в прекрасной столовой, и т.п.

Несмотря на все привилегии, преобразованный ЛЭФИ покинула большая группа квалифицированных сотрудников: Ю.Б.Кобзарев, Д.А.Рожанский, А.В.Москвин и еще ряд ученых ушли в Физико-технический институт, возглавляемый А.Ф.Иоффе. Н.Д.Папалекси перешел в Центральную радиолобораторию, В.П.Вологдин — в созданный им Институт токов высокой частоты. Из прежнего состава ЛЭФИ в НИИ-9 какое-то время продолжали работать лишь две группы сотрудников, имевшие отношение к авиации: лаборатория стабилизации частоты диапазонов генераторов в радиолокации (начальник Б.К.Шембель) и отдел электроакустики (начальник Н.Н.Андреев).

К выполнению новых задач, поставленных перед НИИ-9, была привлечена группа ученых, переведенных из Москвы, — Б.В.Введенский (впоследствии академик), М.Л.Слиозберг, Г.А.Разоренов, Е.Н.Майзельс, а также бывшие сотрудники Нижегородской радиолоборато-

рии — В.В.Татаринов, Д.Е.Маляров, Н.Ф.Алексеев, А.М.Кугушев.

Достаточно полных данных о работах, проводившихся в НИИ-9 в 1930-х годах, в литературе, по-видимому, нет. В какой-то мере свет на эти работы проливают воспоминания академика Н.Д.Девяткова, а также отрывочные сведения, имеющиеся в других работах. Вероятно, на постановку ряда исследований и разработок повлияли появившиеся в западной печати сообщения о существовании неких лучей, способных на расстоянии поражать живую силу и боевую технику противника. Роль инженера Гарина, создавшего генератор таких лучей, приписывалась разным лицам, в том числе известному изобретателю в области радиотехники Г.Маркони. Знаменитому итальянцу пришлось даже выступить в печати с заявлением, что к подобной дезинформации он не имеет никакого отношения. Правда, это заявление появилось позже описываемых событий.

Одним из основных направлений работы НИИ-9 стало создание мощных генераторов электромагнитной энергии в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне излучения. Предполагалось, что с помощью таких приборов, в частности магнетронов непрерывного действия, можно создавать направленное излучение, способное выводить из строя живую силу, а также приближающиеся самолеты противника (их двигатели внутреннего сгорания). Были и оптимисты, утверждавшие, что дальнейшее развитие такой техники позволит создавать острофокусированные «лучи смерти», которые будут разрушать технику и наземные сооружения, подобно тому, как это делал гиперболюид в романе Толстого.

Последующие работы, проведенные в НИИ-9, показали, что электромагнитное излучение в дециметровом диапазоне длин волн при мощности порядка 50—100 кВт, направленное специальными антеннами на само-

лет с фанерным фюзеляжем, вызывает перебои в работе двигателя. К тому времени, однако, распространение получили самолеты с металлической обшивкой, оказавшиеся нечувствительными к «лучам смерти». Слой металла экранировал двигатель от потока электромагнитного излучения: СВЧ-генератор мощностью в несколько кВт не мог заглушить авиационный двигатель даже на расстоянии 5 м.

По результатам работ были сделаны выводы в духе времени: в 1937 г. 10 сотрудников НИИ-9 во главе с директором института Н.И.Смирновым арестовали. Спустя два года все они были отпущены — шла в предвоенные годы небольшая волна освобождения специалистов (наверное, кто-то понял, что делать из нужных работников «вредителей» себе дороже).

К счастью, результаты проведенных работ не пропали даром: мощные СВЧ-генераторы стали использоваться по более подходящему назначению — для радиолокации, радиопеленгации, а также высокочастотной закалки. НИИ-9 выполнил ряд разработок по созданию радиолокационной аппаратуры непрерывного излучения. В 1936 г. был изготовлен опытный образец зенитного радиолокатора «Буря» с дальностью действия 10—11 км.

Более перспективной оказалась радиолокационная аппаратура, использующая импульсный метод радиоизлучения. По иронии судьбы, необходимые мощные генераторные импульсные лампы были разработаны в Ленинградском физико-техническом институте Ю.Б.Кобзаревым вместе с другими «беженцами» из НИИ-9. На базе этих приборов в 1938 г. была создана радиолокационная станция «Редут» с дальностью обнаружения самолетов от 50 до 95 км, в зависимости от высоты полета.

О «лучах смерти» больше не вспоминали. Но недолго, лет двадцать, — до появления приборов квантовой электроники...■

# Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

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

Литературный редактор  
**С.В.ЧУДОВ**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**С.В.ЧУДОВ**

Набор:  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры:  
**В.А.ЕРМОЛАЕВА**  
**Е.А.ПИМЕНОВА**

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.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-24-56  
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.03.2007  
Формат 60×88 1/8  
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 71  
Набрано и сверстано в редакции

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