

# **ПРИРОДА**

**2001 4**



**В НОМЕРЕ:****3****Куркин М.И.****Лекторий****Может ли изолятор быть сверхпроводником?**

*Одни твердые тела проводят электрический ток, другие – нет. А может ли вещество вести себя как изолятор, находясь в сверхпроводящем состоянии?*

**10 ЧЕРНОБЫЛЬ И ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИИ**

*Авария на ЧАЭС породила множество общечеловеческих проблем. Новое звучание приобрели и вопросы радиационного воздействия на биоту.*

**Василенко И.Я.****Радиация. Источники, нормирование облучения****Шевченко В.А.****Как оценивать генетический риск облучения (17)****Щеглов А.И., Цветнова О.Б.****Роль лесных экосистем при радиоактивном загрязнении (23)****34****Колотова М.А.****Заповедная лаборатория**

*Окский заповедник первым в России удостоен Диплома Совета Европы. Но даже в этом старейшем заповеднике не все благополучно.*

**44****Сурдин В.Г.****Судьба звездных скоплений**

*Большинство звезд Галактики объединены в системы, содержащие от двух до миллиона светил. Взаимодействие между звездами и окружающим их газом приводит к неожиданным поворотам в эволюции этих систем.*

**Научные сообщения****51****Мельникова М.Н., Виноградов А.В., Медников Б.М., Чекановская Л.А.****Новый метод определения вирусной нагрузки****Несис К.Н.****Когда появилась жизнь в глубинах океана? (68)****55****Назимова Д.И., Поликарпов Н.П.****Возможен ли прогноз лесного покрова Сибири на XXI век?**

*Понять трансформацию растительного покрова Сибири при возможных сценариях глобального потепления помогают новые биогеоклиматические модели.*

**63****Расцветаева Р.К.****Царь Эвдиалит и его царство**

*Эвдиалит принадлежит к числу минералов, о которых говорят, что они содержат треть таблицы Менделеева. Где же располагаются все эти катионы и анионы?*

**Калейдоскоп****67**

Камерун неспокоен (67). – Становление золотой энергетики (67).

**Возвращение****70****НЕЗНАКОМЫЙ КОСТИЦЫН**

*Мемуары эмигранта, забытого на родине, полны открытий: это знакомство с неординарной личностью и ученым, значение которого оценивается выше прижизненного признания.*

**Сидоров Н.А.****Тридцать три тетради (70)  
«Говорить мне не с кем»****Из воспоминаний В.А.Костицына (75)****Апрельский факультатив****81****Расторгуев А.А.****Компьютерные байки  
Дубненский фольклор (84)****Новости науки****86**

Цитогенетический мониторинг последствий Чернобыльской аварии (33). – В ближайшей перспективе – два марсохода. **Вибе Д.З.** (86). – Солнечный максимум в самом разгаре (86). – «Двойняшки» в семье астероидов (86). – Водяной лед на кентавре Хирон (87). – Первое наблюдение тау-нейтрино (88). – Мощное СВЧ-излучение может быть опасным для живых организмов (88). – Беззубые кинжалозубы (89). – Сухопутным фитофагам труднее, чем водным. **Гиляров А.М.** (89). – Невидимое золото (90). – На паутине – со звезд на Землю (91). – Наскальные изображения в пещере Арси-сюр-Кюр (91).  
**Объявления** (43, 62)

**Рецензии****92****Лысенко А.Я., Беэр С.А.****О микроорганизмах, токсинах  
и эпидемиях****Новые книги****94****В конце номера****95****Не для того ли волосы растут, что...**

## CONTENTS:

### Lectures

#### 3 Kurkin M.I.

##### Can a Superconductor Be an Insulator?

*Some solids conduct electric current, some do not. It appears interesting to find a substance that would behave as an insulator while being in the superconducting state.*

#### 10 CHERNOBYL AND PROBLEMS OF RADIOBIOLOGY

*The Chernobyl Nuclear Power Plant accident generated a multitude of universal problems. The questions of radiation effects on the biota were placed high on the agenda.*

Vasilenko I.Ya.

##### Radiation: Sources and Permissible Doses (10)

Shevchenko V.A.

##### How to Assess the Genetic Risk of Radiation (17)

Shcheglov A.I. and Tsvetnova O.B.

##### The Role of Forest Ecosystems during Radioactive Contamination (23)

#### 34 Kolotova M.A.

##### Preserve Laboratory

*The Oka Nature Reserve was the first in Russia to earn a Council of Europe Diploma. Yet even in this highly esteemed reserve, things are not running quite smoothly.*

#### 44 Surdin V.G.

##### The Fate of Star Clusters

*Most of the stars in the Galaxy are grouped into systems, containing two to a million luminaries each. Interaction between the stars and surrounding gas leads to some unexpected turns in the evolution of these systems.*

### Scientific Communications

#### 51 Melnikova M.N., Vinogradov A.V., Mednikov B.M., and Chekanovskaya L.A.

##### A New Method for Determining Viral Load

Nesis K.N.

##### When Did Life Originate in the Ocean Deeps? (68)

#### 55 Nazimova D.I. and Polikarpov N.P.

##### Is It Possible to Predict the State of Siberian Woods in the 21st Century?

*Insights into the transformation of the Siberian vegetation cover in possible warming scenarios can be gained from new biogeoclimatic models.*

#### 63 Rastsvetaeva R.K.

##### King Eudialyte and Its Kingdom

*Eudialyte is among the minerals that are said to contain a third of the elements of the periodic table. Where do all these cations and anions reside?*

### Kaleidoscope

#### 67

Cameroon Is not Quiet (67). – The Formative Stage of the Wind Energy Industry (67).

### Comeback

#### 70

##### UNFAMILIAR KOSTITSYN

*The memories of the émigré forgotten in his homeland are full of revelations, acquainting the reader with this extraordinary personality and scientist, whose significance is far greater than the recognition that he received in his lifetime.*

Sidorov N.A.

##### Thirty-three Copybooks (70)

##### «I Have Nobody to Talk to»

##### From V.A. Kostitsyn's Reminiscences (75)

### April Topics

#### 81 Rastorguev A.A.

##### Computer Tales Dubna Lore (84)

### Science news

#### 86

Cytogenetic Monitoring of the Effects of the Chernobyl Accident (33). – In the Near Term: Two Mars Rovers. **Wiebe D.S.** (86). – Solar Maximum at Its Height (86). – Twins in an Asteroid Family (86). – Water Ice on Chiron (87). – The First Tau-Neutrino Observation (88). – Powerful Microwave Emissions Can Be a Hazard to Living Organisms (88). – Daggertooths without Teeth (89). – Terrestrial Phytophagous Organisms Have It Harder than Their Aqueous Relatives. **Gilyarov A.M.** (89). – Invisible Gold (90). – In a Spiderweb: From Stars Down to Earth (91). – Rock Paintings in the Arcy-sur-Cure Cave (91). – *Advertisements* (43, 62)

### Book reviews

#### 92 Lysenko A.Ya. and Be'er S.A.

##### About Microorganisms, Toxins, and Epidemics

### New Books

#### 94

### End of issue

#### 95

##### Doesn't Hair Grow So that...

# Может ли изолятор быть сверхпроводником?

— Вы, профессор, воля ваша, что-то нескладное придумали. Оно, может, и умно, но больно непонятно. Над вами потешаться будут.

М.Булгаков. «Мастер и Маргарита».  
Из беседы Волаанда с Иммануилом Кантом за завтраком.

М.И.Куркин

Начну с того, что вопрос, вынесенный в заголовке, требует уточнения. Его можно воспринимать в плане возможности существования двух состояний (диэлектрического и сверхпроводящего) одного вещества, но при разных условиях. Тогда в нем нет ничего смешного. Я собираюсь обсудить его в другом варианте: может ли вещество вести себя, как изолятор, находясь в сверхпроводящем состоянии? Чтобы юмор такой постановки вопроса был понятен не только специалистам по сверхпроводимости, необходимы некоторые пояснения.

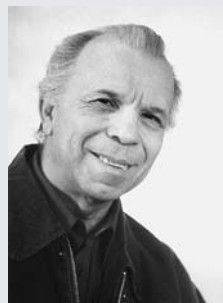
## Свободные и связанные электроны в твердых телах

*Свобода есть осознанная необходимость.*

Ф.Энгельс

В физике термин «свободный» обычно употребляется как антипод слову «связанный», а «связанный» — как синоним слову «локализованный». Если объект связанный, он не может самостоятельно покинуть своего насиженного места. И наоборот, объект свободен, если он имеет право без посторонней помощи сорваться с места куда глаза глядят и не возвращаться. В этом смысле электрон в атоме,двигающийся по орбите вокруг ядра, следует считать связанным. Для его амнистии из атомной тюрьмы достаточно сблизить атомы до перекрытия их электронных оболочек, как это происходит во всех твердых телах. Тогда у электронов появится возможность путешествовать от одного атома к другому, а став коллективной собственностью, они оказываются свободными в соответствии с принятым выше определением.

Убедиться в существовании таких свободных электронов в том или ином веществе проще всего



**Михаил Иванович Куркин**, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией теоретической физики Института физики металлов Уральского отделения РАН (Екатеринбург). Занимается проблемами теории когерентных явлений в радиоспектроскопии. Опубликовал в соавторстве с Е.А.Туровым монографию «Ядерный магнитный резонанс в магнитоупорядоченных веществах и его применения». Неоднократно печатался в «Природе».

по их поведению в электрическом поле  $E$ . Свободные электроны должны перемещаться под действием  $E$ , т.е. проводить электрический ток. Если свободных электронов нет, вещество — непроводник, или, как чаще говорят, изолятор. Таким образом, газ нейтральных атомов, где все электроны связаны, обязан быть изолятором, в чем мы убеждаемся каждый раз, выдергивая вилку из электророзетки.

© М.И.Куркин



Что касается твердых тел, то поскольку коммунистическое сообщество атомов раскрепощает электроны, напрашивается вывод:

*все твердые тела — проводники.*

Тогда как быть с твердыми изоляторами, на которых подвешены провода линий электропередач?

Оказалось, что все дело в квантовых свойствах электронов. В частности, согласно законам квантовой механики электрон с импульсом  $p$  должен обладать волновыми свойствами. Длина такой электронной волны  $\lambda$  связана с  $p$  соотношением де Бройля:

$$\lambda = h/p, \quad (1)$$

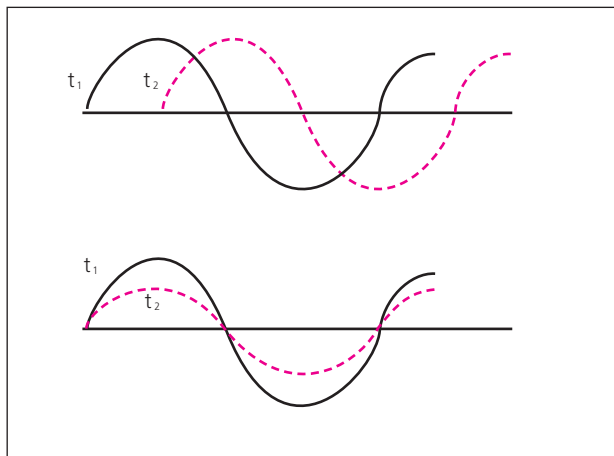
где  $h$  — постоянная Планка.

## Волновая делокализация как способ ограничения свободы

*Ох, и дурят нашего брата.*

Из репертуара Аркадия Райкина

Обычно волна представляется чем-то очень размазанным в пространстве, поэтому локализация электрона с ее помощью на первый взгляд напоминает попытку утопить щуку в реке. Однако,



Мгновенные снимки струны при ее колебании в режиме бегущей (сверху) и стоячей волн в последовательные моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  (соответственно сплошные и штриховые линии). Для бегущей волны процесс распространения сводится к смещению всей кривой как целого (отсюда и название «бегущая волна»). В том, что такая волна обладает импульсом, легко убедиться, наблюдая, как в шторм волны разбиваются о скалы. А вот две встречные бегущие волны не разбиваются друг о друга, а взаимно проникают. В результате получается стоячая волна, узлы которой остаются на месте (поэтому она и «стоячая»), а остальные точки совершают колебания с разной амплитудой.

если у читателя хватит терпения, через пару абзацев он убедится, что у меня не было в мыслях водить его за нос, по крайней мере здесь.

Для начала вспомним, что твердые тела, как правило, обладают кристаллической (т.е. пространственно периодической) атомной структурой, а законы распространения волн в кристаллах хорошо известны из опытов с рентгеновскими лучами. Падающая волна генерирует на каждом узле решетки рассеянную волну; рассеянные волны, налагаясь друг на друга, по законам интерференции могут усиливать друг друга, а могут и ослаблять (в зависимости от соотношения их фаз). Так вот, если длина волны падающего излучения  $\lambda > 2d$ , где  $d$  — период решетки в направлении распространения волны, рассеянные волны гасят друг друга. В результате падающей волне не приходится тратить свои ресурсы на их содержание и она свободно распространяется через кристалл. При

$$\lambda = 2d \quad (2)$$

рассеянные волны, наоборот, усиливают друг друга, формируя новую волну, которая распространяется в направлении, противоположном падающей. В свою очередь рассеянная волна генерирует рассеянную волну второго порядка в направлении падающей и т.д. И если рассеянную волну назвать падающей, то падающая по отношению к ней станет рассеянной. В этих условиях разобраться, как кого называть, не представляется возможным, поэтому был достигнут компромисс в виде понятия о волне нового типа, в которую бегущие в противоположном направлении волны входят на полностью равноправных условиях. Эту образующуюся в конце концов волну называют стоячей. Представить себе различие между бегущей волной и стоячей можно уже на примере колебаний струны. Достаточно сравнить мгновенные снимки струны в разные моменты времени.

К электрону в состоянии стоячей волны формула де Бройля (1) уже не применима. Поскольку такой электрон не может решить, в какую сторону ему двигаться, его импульс

$$p = p_s = 0, \quad (3)$$

несмотря на то, что  $\lambda_s \neq 0$ .

Равенство (3) можно пояснить следующим образом. Выберем какой-нибудь электрон в состоянии стоячей волны, который обретается где-то в средней полосе России. Как волна он не может быть точно локализован, поэтому имеет шанс побывать, например, в Ялте. Но как стоячая волна он обязан отбыть такой же срок на Соловках, чтобы его среднее положение не сместилось. В этом смысле наш электрон оказывается связанным. Во всяком случае участвовать в переносе заряда он не может.

Как же такое ограничение свободы скажется на электропроводности кристаллов в поле  $E$ ? Выберем электрон, который до включения поля  $E$  имел

длину волны  $\lambda > 2d$ , поэтому находился в состоянии бегущей волны. Под действием  $E$  он будет ускоряться, увеличивая свой импульс  $p$  и уменьшая длину волны в соответствии с (1). Когда  $\lambda$  достигнет значения  $2d$  (2), электрон перейдет в состояние стоячей волны и выпадет из процесса электропереноса.

Получаем, что импульс электрона в кристалле  $p$  ограничен некоторой величиной, которую обозначим символом  $p_B$ . Интервал разрешенных значений  $p$ :

$$|p| < p_B = h/d \quad (4)$$

назвали зоной Бриллюэна. А что происходит с энергией электрона?

При объединении атомов в кристалл изменяется энергетический спектр электрона, т.е. допустимые законами квантовой механики значения его энергии. В атоме связанным состояниям электрона соответствуют дискретные значения (уровни) энергии  $\epsilon_n$  ( $n$  — номер электронной оболочки). Кстати, их вычисление обеспечило триумф квантовой механике.

В кристалле к  $\epsilon_n$  необходимо добавить кинетическую энергию  $p^2/2m_n$ , где  $m_n$  — так называемая эффективная масса электрона, характеризующая его движение не вообще, а только от одного атома к другому. Она может значительно превышать массу электрона в вакууме  $m \sim 10^{-30}$  кг, поскольку зависит от степени перекрытия электронных оболочек соседних атомов.

Зависимость энергии электрона от  $p$  означает, что атомные уровни расширяются в полосы энергии. Максимальному значению  $p = p_B$  должна соответствовать максимальная допустимая энергия, а ширина каждой из полос  $\Delta_n$  в соответствии с (4) определяется выражением:

$$\Delta_n = p_B^2/2m_n. \quad (5)$$

Полосатый энергетический спектр электронов в твердом теле занимает промежуточное положение между непрерывным спектром электронов в вакууме и спектром бесконечно узких уровней энергии электрона в атоме.

## Некоторые другие формулы электронной теории

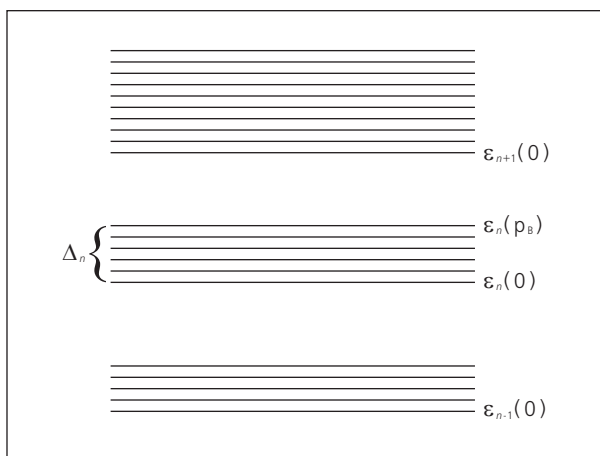
— Огласите весь список, пожалуйста.

Реплика из кинофильма Л.Гайдая «Напарник»

Ограничение (4) на величину импульса  $p$  означает, что для электрона в кристалле существует предельная скорость

$$v_n = p_B/m_n = 2\Delta_n/p_B, \quad (6)$$

превышение которой карается лишением свободы — ссылкой в состояние стоячей волны. Казалось бы, действие таких двух требований, как ускорение электронов полем  $E$  и их арест при дости-



Энергетический спектр электронов в кристалле. Полосы разрешенных значений энергий обозначены горизонтальной штриховкой; они отделены друг от друга запрещенными зонами.  $n$  — номер разрешенной полосы, ее дно  $\epsilon_n(0)$  соответствует значению  $p = 0$ , а потолок  $\epsilon_n(p_B)$  — значению импульса на границе зоны Бриллюэна  $p_B$ ;  $\Delta_n$  — ширина полосы.

жения предельной скорости, должно исключить существование твердых проводников. Значит, все кристаллы — изоляторы.

Дабы снова не спешить с выводами, попробуем сперва учесть движение атомных ядер при электропереносе. На первый взгляд это представляется бессмысленным занятием, поскольку ядра в твердом теле совершают лишь колебательные движения и, следовательно, не могут участвовать в электропереносе. Но ведь и стенки водопроводных труб неподвижны, тем не менее их взаимодействие с водой (из-за трения) сильно сказывается на нашем водоснабжении.

Аналогично трение электронов о кристаллическую решетку позволяет им ускориться в поле  $E$  лишь до определенного значения  $v(E)$ . С ним связана величина плотности электрического тока, который протекает в проводнике под действием поля  $E$ :

$$j(E) = e \rho v(E), \quad (7)$$

где  $e$  — заряд электрона,  $\rho$  — число электронов в единице объема. Зависимость  $v$  от  $E$  должна быть такой, чтобы выполнялся закон Ома. По этому закону с ростом  $E$  увеличивается  $j(E)$ , а следовательно и  $v(E)$ , однако достигнуть предельных значений  $v_n$  (6) и максимальной плотности тока

$$j_n = e \rho v_n \quad (8)$$

пока не удалось ни для одного из известных твердых проводников. Это связано с разогревом проводника, настолько сильным, что проводник испа-

рится прежде, чем ток сравняется с  $j_n$  (8) и материал превратится в изолятор. Как и в первый раз, выходит, что

*все твердые тела — проводники.*

Круг замкнулся, и есть все основания считать его порочным, ибо твердые изоляторы все же существуют.

Итак, одних волновых свойств электрона оказалось недостаточно, чтобы разгадать тайну различия проводников и изоляторов.

## Принцип Паули и критерий проводимости

*Был мир глубокой тьмой окутан.*

*Да будет свет! И вот явился Ньютон.*

Из научного фольклора

Собственно Ньютон здесь упомянут исключительно для рифмы. На самом деле в данном случае благодарить следует Паули, открывшего принцип своего имени. Этот принцип запрещает двум электронам находиться в одном квантовом состоянии\* и допускает переход электрона от одного атома к другому при выполнении уже двух условий:

— упоминавшемся ранее перекрытии электронных оболочек соседних атомов;

— наличии пустых мест в оболочках, куда собирается податься электрон.

Если оболочки заполнены целиком, электрон перейти на другой атом не имеет права. При объединении атомов в кристалл орбитам, где наблюдается аншлаг, соответствует полностью заполненная зона Бриллюэна, т.е. электроны разбирают все значения из полосы разрешенных энергий. В таком твердом теле электроны могут увеличивать свою энергию только скачком, переходя в полосу с более высоким номером  $n$ , а не непрерывно, как при ускорении полем  $E$ . Значит, вещества с полностью заполненными полосами энергии удовлетворяют критерию изолятора.

Из атомных оболочек с вакантными местами образуются полосы и зоны, заполненные (при температуре  $T = 0$ ) до определенного уровня, называемого уровнем или энергией Ферми  $\epsilon_F$  (с соответствующим ему импульсом Ферми  $p_F$ ). В этом случае энергия электронов может изменяться непрерывно, т.е. такое вещество удовлетворяет критерию проводника. Целиком заполненные полосы получили название валентных, частично — полос проводимости.

Ускоряя электроны полем  $E$ , можно попытаться

\* Для квантовых частиц, обладающих волновыми свойствами, такого запрета как будто бы не должно быть, так как волны могут накладываться друг на друга, обеспечивая тем самым интерференцию. Более того, есть сорт квантовых частиц, которые, наоборот, стремятся залезть в одно состояние, чувствуя себя в такой коммуналке более комфортно, чем при раздельном проживании. Но электроны принцип Паули неукоснительно соблюдают.

загнать их под потолок полосы проводимости, чтобы все пустые состояния остались на дне. В этом состоянии проводник должен вести себя как изолятор, поскольку потолок полосы проводимости не даст электронам возможности ускоряться и дальше. После выключения  $E$  такое состояние будет неустойчиво, так как не удовлетворяет условию минимума энергии. Подобно лавине, которая несется с вершины горы вниз, электроны посыпятся на дно полосы, отдавая излишки своей энергии решетке. При этом пустые места начнут «всплывать» вверх, так что вещество вновь превратится в проводник.

К сожалению, создать такое инвертированное, как его называют, состояние в твердых проводниках пока не удалось. Дело в том, что по мере его формирования электроны из-за трения о решетку так сильно ее разогревают, что вещество испаряется прежде, чем электроны почувствуют потолок полосы проводимости\*.

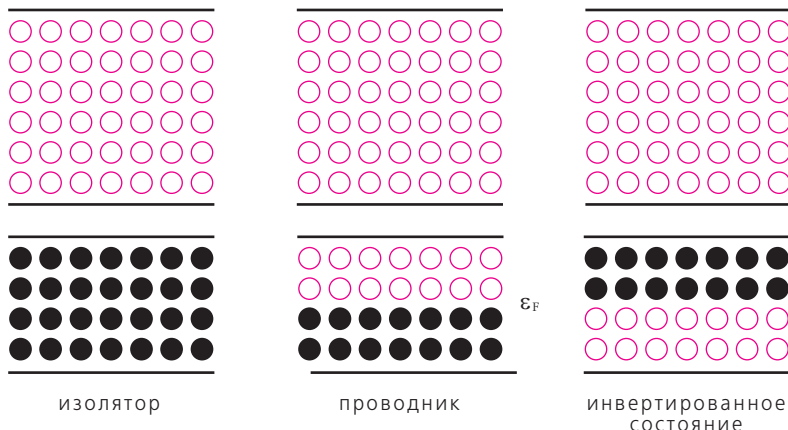
Получается, что создавая мир, Творец поделил все твердые тела на проводники и изоляторы (в рамках интересующего нас вопроса полупроводники те же изоляторы\*\*). Вариант, при котором проводник может превратиться в изолятор, а затем снова в проводник, в принципе не запрещен. Но Всевышний почему-то решил создать разные препятствия на пути его реализации, поставив его в положение запретного плода, который вроде и есть, но трогать его — грех. А вдруг такое превращение возможно для сверхпроводников?

Сверхпроводники — это проводники с нулевым электросопротивлением. Напомним, с чем связано появление обычного сопротивления. Во-первых, под действием электрического поля все электроны получают одинаковое ускорение, т.е. на их хаотическое тепловое блуждание накладывается упорядоченное движение. Во-вторых, столкновение каждого электрона с большим числом ядер стремится превратить такое упорядоченное движение снова в хаотическое, как это происходит с путником в густом лесу при отсутствии ориентиров. Когда рост упорядоченности за счет  $E$  будет скомпенсирован разупорядочением из-за столкновений, установится фиксированное значение тока, которое и описывается известным законом Ома. Из этой картины ясно, что «занулить» сопротивление можно, связав электроны между собой в некое крупное образование, от которого отдельные ядра не в состоянии отщипывать по од-

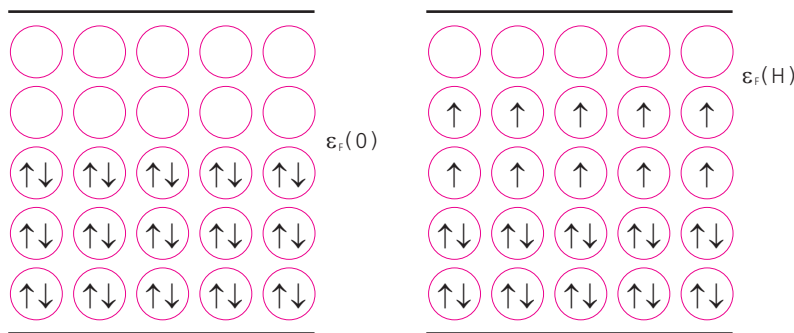
\* Чтобы не вызвать недоумения у читателей, не забывших принцип генерации света лазером, подчеркнем, что здесь речь идет об инвертированном состоянии именно целой зоны, а не группы примесных уровней, как в активном веществе лазера.

\*\* У полупроводников, как и у изоляторов, хватает электронов для заполнения зоны Бриллюэна целиком, но в отличие от вторых у первых очень узка запрещенная зона. Поэтому в полупроводниках при комнатных температурах тепловое движение забрасывает часть электронов в зону проводимости, и они получают возможность участвовать в создании электрического тока.

Разные варианты заполнения электронами энергетических полос в кристалле. Полупроводник при нулевой температуре изображается так же, как изолятор. Правая схема отвечает инвертированному распределению электронов в проводнике.  $\epsilon_F$  – уровень Ферми.



Положение уровня Ферми  $\epsilon_F$  в зоне проводимости в отсутствие магнитного поля ( $H = 0$ , слева) и при конечных  $H \neq 0$ . В первом случае все состояния заполняются парами электронов с противоположными магнитными моментами (стрелки). Во втором – часть импульсных состояний занята однократно, и уровень Ферми смещен вверх.



ному электрону. Если в масштабах этого образования все неоднородности атомной структуры вещества (включая тепловые) полностью усредняются, то оно (образование) будет передвигаться в веществе с сохранением импульса, как в однородной среде\*.

Реализовать эти соображения в формулах удалось Дж.Бардину, Л.Куперу и Дж.Шрифферу, поэтому их описание сверхпроводимости называют теорией БКШ.

С исчезновением трения у электронов появляется возможность, ускоряясь полем  $E$ , добраться до потолка полосы проводимости, а там, чем черт не шутит, превратить сверхпроводник в изолятор. Увы, Создатель предусмотрел этот вариант и исключил его с помощью все того же принципа Паули. Замысел сводился к следующему. Дабы образовать сверхпроводящий коллектив, следует каждую пару электронов с противоположно направленными импульсами  $p_F$  и  $-p_F$  как-то связать, чтобы они не очень разлетались в разные стороны после встречи. Возможность преодолеть эти сепаратистские тенденции есть, поскольку каждый элек-

трон имеет магнитный момент  $\mathbf{M}$ , а значит, кинетическая энергия разлета, которую надо погасить, будет зависеть от магнитного поля.

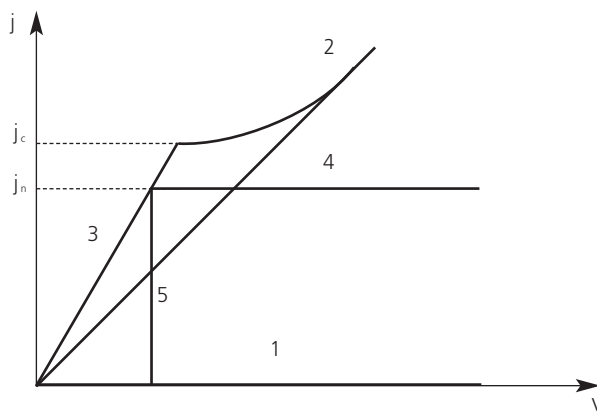
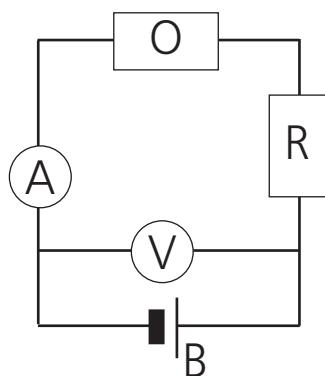
Действительно, по законам квантовой механики у пары электронов векторы  $\mathbf{M}$  могут быть либо параллельны, либо антипараллельны. Принцип Паули разрешает им иметь импульс одинаковой величины  $p$  только при антипараллельной ориентации  $\mathbf{M}$ . Это позволяет электронам понизить свою кинетическую энергию, заселяя каждое состояние с импульсом  $p$  парами. Можно сказать, что между электронами, как и между людьми, действует некоторое взаимное притяжение.

Магнитное же поле  $\mathbf{H}$  стремится ориентировать все векторы  $\mathbf{M}$  параллельно себе. Но стоит векторам  $\mathbf{M}$  стать параллельными, как электронам придется разойтись по камеркам с разными значениями  $p$ : чтобы не вступать в конфликт с принципом Паули, им необходимо чем-то отличаться друг от друга. В результате кому-то из партнеров придется лезть вверх, увеличивая  $p_F$  и  $\epsilon_F$ . Это означает, что должно существовать критическое поле  $H = H_c$ , при котором величина  $p_F$  достигнет таких значений, когда «притяжение» между электронами не сможет обеспечить стабильность сверхпроводящего сообщества.

Осталось вспомнить, что при ускорении электронов появляется электрический ток, а значит, и связанное с ним магнитное поле  $H$ . Следовательно,

\* Многие читатели «Природы» знают, что каждый закон сохранения отвечает какому-нибудь свойству симметрии среды. Так, закон сохранения энергии отражает однородность времени, закон сохранения момента импульса — изотропность пространства, ну а закон сохранения самого импульса — однородность пространства. Эти утверждения известны в физике под названием теоремы Нётер.





Простейший способ выявления «классовой принадлежности» образца.

Слева – электрическая схема для снятия вольт-амперной характеристики. В – источник тока, О – исследуемый образец, R – эталонное сопротивление, V – вольтметр, А – амперметр.

Справа – вольт-амперная характеристика изолятора (1), нормального проводника (2), обычного сверхпроводника (3), аномального сверхпроводника, не превращающегося в изолятор (4 – частичное грехопадение) и аномального сверхпроводника, переходящего в инвертированное состояние с полной потерей электропроводности (5 – полное грехопадение).

но, существует критическое значение тока  $j_c$ , при котором магнитное поле тока разрушает сверхпроводящее состояние. Для всех известных сверхпроводников

$$j_c \ll j_n, \quad (9)$$

где  $j_n$  – предельное значение (8). В результате после разрушения сверхпроводимости вещество становится нормальным проводником, а не изолятором. Таким способом Творцу удалось сохранить упомянутый выше запретный плод в неприкосновенности.

## Аномальная сверхпроводимость

*Не будут люди чтить богов,  
Коль черта нет в учережденьи!*

Из оперы, написанной  
в Институте физики металлов  
Ю.М.Плишкиным, И.Ш.Трахтенбергом  
и Г.Г.Талуцем по поводу создания  
Уральского научного центра

А что, если сверхпроводники, для которых

$$j_c > j_n, \quad (10)$$

все-таки существуют? Сейчас мы увидим, что о реализации условия (10) без участия нечистой силы нечего даже и думать. По этой причине весь последующий текст рассчитан на читателя, который убежден, что Дьявол существует, даже если Бога нет.

Прежде всего встает вопрос, как эксперимен-

тально отличить аномальный сверхпроводник от вещества другого типа. Обычно для подобных целей используют вольт-амперную характеристику (ВАХ). Для ее регистрации собирается нехитрая схема, вроде той, что изображена слева на последнем рисунке, а затем строится зависимость показаний амперметра  $j$  от показаний вольтметра  $V$ . Если исследуемый образец – изолятор, ток  $j = 0$  и линия  $j(V)$  совпадет с осью  $V$  (линия 1 на рисунке справа). Для нормального проводника  $j(V)$  будет представлена прямой линией 2, наклон которой, согласно закону Ома, определяется суммарным сопротивлением цепи – эталона  $R$  и образца  $r$  (возьмем его равным сопротивлению сверхпроводника в несверхпроводящем состоянии). ВАХ для обычного сверхпроводника при  $j < j_c$  изобразится линией 3. Ее наклон сначала будет больше, так как сопротивление образца  $r = 0$ . Затем, при  $j > j_c$ , произойдет переключение на линию 2 с промежуточным участком, вид которого зависит от характера превращения сверхпроводника в нормальный проводник.

Для аномального сверхпроводника зависимость  $j(V)$  совпадет с прямой линией 3 до значения  $j = j_n$  (8). На этой отметке ток  $j$  должен бы замедлиться, так как увеличивать свою скорость  $v$  электроны не могут (мешает потолок полосы проводимости), а отсутствие трения не позволит им передать свой импульс решетке (линия 4). По отсутствию реакции  $j$  на изменение  $V$  аномальные сверхпроводники похожи на изоляторы. Но только похожи, поскольку в изоляторах ток  $j = 0$ , а не  $j_n$ .

Такое частичное грехопадение, конечно, не может удовлетворить Искусителя, тем более что у него осталась лазейка для полного соvrращения. Вспомним, что бегущая волна де Бройля, описывающая движение электрона с импульсом  $p_v$  (4), превращается при условии (2) в стоячую волну, у которой электронный импульс  $p = 0$ . Закон сохранения импульса предписывает передать эту разницу импульсов партнеру по взаимодействию — кристаллической решетке. Существенно, что кинетическая энергия электронов в этом процессе не меняется, следовательно не происходит и разогрева образца, как в случае электросопротивления. В результате такого обмена импульсами без передачи энергии полная скорость электронов относительно ядер станет равной нулю, а сами электроны окажутся в инвертированном состоянии. Как уже говорилось, в этом состоянии они полем ускоряться не могут и, значит, неотличимы от электронов в изоляторах. Ясно, что сверхпроводящий ток обратится в нуль (линия 5) и будет оставаться таковым при увеличении  $V$ .

Самое интересное в этой истории то, что аномальный сверхпроводник будет скрываться под маской изолятора\*, пока его не нагреют до температуры сверхпроводящего перехода  $T_c$ , выше которой он станет нормальным проводником. Но при охлаждении ниже  $T_c$  он снова превратится в сверхпроводящий изолятор и т.д.

Итак, тактика соvrращения найдена. Осталось разыскать объект, готовый к такому грехопадению.

## Кто он, аномальный сверхпроводник

*Где искать и как добыть  
То, чего не может быть?*

Л.Филатов.

«Про Федота — стрельца, молодого удальца»

Посмотрим теперь более внимательно на формулы (6) — (10). Из них следует, что скорость  $v_n$  (6) в аномальном сверхпроводнике должна быть гораздо меньше, чем в обычном. Поскольку межатомные расстояния  $d$  в различных твердых телах отличаются незначительно, то и импульсы  $p_v$  (4) также должны быть близки по величине. Поэтому малые значения  $j_n$  (8) в аномальном сверхпроводнике можно получить только за счет малой ширины зоны проводимости  $\Delta_n$  (5). Хотя веществ с ма-

\* Может, поэтому они до сих пор не обнаружены?

лыми  $\Delta_n$  достаточно много, все они, как правило, оказываются изоляторами. Для превращения их в проводники приходится вводить различные примеси. В качестве примера укажем на соединение  $YBa_2Cu_3O_6$  — базовое для высокотемпературных сверхпроводников (с температурой сверхпроводящего перехода  $T_c$  выше точки кипения жидкого азота). Хотя само это соединение — изолятор, его удастся превратить в проводник, увеличив содержание кислорода с  $O_6$  до  $O_{6+x}$ , где  $x$  может изменяться в пределах от 0.4 до 1.

Из сказанного следует, что аномальные сверхпроводники нужно искать прежде всего среди изоляторов с примесями. Не исключено, что требуемый интервал концентраций примесей окажется слишком узким. Тогда из-за флуктуаций в распределении их по объему образца содержание вожденной фазы станет настолько низким, что она сможет существовать лишь в виде мелких включений, не контактирующих между собой. В этих условиях нечего даже и думать, чтобы осуществить описанный выше эксперимент. Останется только путь бесконтактного обнаружения сверхпроводящей фазы, да еще норовящей замаскироваться под изолятор. Тут ничего не поделаешь. Как заметил еще И.В.Гёте, иметь дело с нечистой силой всегда не просто. Для достижения успеха приходится закладывать душу.

## В заключение

*Разумеется, прозорливый читатель уже давно угадал, что я с самого начала к тому клонил, и только досадовал на меня, зачем я даром трачу бесполезные слова и драгоценное время.*

Ф.Достоевский.  
«Братья Карамазовы»

Думаю, что читатель вправе спросить меня, а сам-то я верю в существование аномальных сверхпроводников. Конечно нет, дорогой читатель. Как можно верить в подобную чушь. Но мне на память пришел один случай, который произошел с Нильсом Бором. В его рабочем кабинете висела подкова, по поводу которой один посетитель задал ему ехидный вопрос: «Вы действительно верите в эту приметку?» «Что Вы, — ответил Нильс Бор. — Как можно верить в подобную чушь». Тогда посетитель задал еще более ехидный вопрос: «Тогда зачем она здесь висит?» «Дело в том, — ответил великий физик, — что эта штука помогает независимо от того, веришь в нее или нет». ■

# ЧЕРНОБЫЛЬ И ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИИ

Прошло 15 лет после Чернобыльской аварии – крупнейшей техногенной катастрофы нашего времени. Огромная территория (более 100 тыс. км<sup>2</sup>), на которой проживают миллионы людей, оказалась загрязненной долгоживущими радиоизотопами. Чернобыль не только обострил проблемы, касающиеся влияния ионизирующего излучения на человека и окружающую среду, но и стал своего рода долгосрочным научным полигоном для изучения самых разных радиобиологических эффектов. (См., напр.: Следы Чернобыля в природной среде // Природа. 1991. №5. С.41–70.)

Сегодня, вспоминая это трагическое событие, мы попытаемся осветить некоторые вопросы, связанные с радиационным воздействием: каковы современные представления о радиационном фоне Земли? Каково влияние малых доз? Как сегодня оценивается для человека генетический риск от облучения? Какова роль природных экосистем при радиоактивном загрязнении?

## Радиация. Источники, нормирование облучения

И.Я.Василенко

Радиационный фон Земли формируют природные и антропогенные ионизирующие излучения, которые испускают не только космические, но и разнообразные земные источники – ядерные взрывы, выбросы предприятий атомной энергетики, отработанное ядерное топливо и др.

Население нашей планеты постоянно подвергается внешнему и внутреннему облучению. Дозы этого облучения в зависимости от уровней космического излучения и содержания естественных и антропогенных радионуклидов в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере различа-



*Иван Яковлевич Василенко, доктор медицинских наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР (1969), ведущий научный сотрудник Государственного научного центра РФ – Института биофизики. Участник ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС 1986 г. Область научных интересов – токсикология продуктов ядерного деления, радиоэкология, радиационная гигиена.*

ются в широком диапазоне. Современный подход к оценке влияния ионизирующих излучений на здоровье человека основывается на рекомендациях Научного комитета по

действию атомной радиации при ООН (НКДАР) [1,2], Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), а также национальных комиссий.

## Естественный радиационный фон

Космическое пространство пронизано заряженными частицами разного происхождения: галактическим излучением, корпускулярным излучением Солнца и захваченными частицами, удерживаемыми на околоземных орбитах магнитным полем Земли. Галактическое излучение состоит главным образом из протонов с небольшим количеством ионов гелия и более тяжелых металлов, а также электронов, фотонов, нейтронов. Энергетический спектр космических лучей простирается до огромных энергий — свыше  $10^{20}$  эВ/нуклон. Корпускулярное излучение Солнца по составу близко к галактическому, но имеет заметный временной ход и ограничено более низкими энергиями частиц — до  $5 \cdot 10^{10}$  эВ/нуклон. Эмиссия излучения протекает непрерывно и отражает 11-летний цикл солнечной активности.

Первичные космические лучи в результате процессов ионизации и ядерных взаимодействий быстро теряют свою энергию и практически исчезают на высоте около 20 км. Образуется вторичное излучение, интенсивность которого падает по мере снижения в атмосфере. Мощность дозы, поглощаемой воздухом на уровне моря в средних широтах, составляет всего 32 нГр/ч (с высотой она удваивается через каждые 1.5 тыс. м); для людей это соответствует средней мощности эквивалентной дозы 355 мкЗв/ч (для всего населения Земли —  $1.9 \cdot 10^6$  чел-Зв/ч)\*.

\* Напомним: эквивалентная доза  $H$  (Зв) ионизирующего излучения определяется как  $H = Dk$ , где  $D$  — поглощенная доза (Гр),  $k$  — коэффициент качества излучения. Грей (Гр) — поглощенная доза, при которой веществу массой 1 кг передается энергия 1 Дж. Зиверт (Зв) — доза, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани стандартного состава на коэффициент качества равно 1 Гр. Коэффициент качества для рентгеновского и  $\gamma$ -излучения принят за единицу.

В атмосфере, литосфере, биосфере под воздействием космических лучей (как первичных, так и вторичных) протекают ядерные реакции, в которых образуются нейтроны, протоны, пионы, каоны, а также радионуклиды:  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  и др. Из 20 космогенных радионуклидов наиболее значим  $^{14}\text{C}$  ( $T_{1/2} = 5730$  лет) как изотоп основного биогенного элемента.

Земная радиация обусловлена естественными радионуклидами, которые содержатся в ее коре. Из не распавшихся к настоящему времени сохранились 23 радиоизотопа. Они получили название примордиальных (табл.1), сроки их жизни сопоставимы с возрастом Земли. В трех семействах — урана, тория и актиния — по мере их распада образуются еще 40 радиоизотопов.

Радионуклиды постоянно присутствуют во всех компонентах окружающей среды: воздухе, почве, воде, растительных и животных организмах, включая человека. Основной источник их поступления в биосферу — горные породы, образующие толщу земной коры. Благодаря деструктивным

процессам метеорологического, гидрологического, геохимического и вулканического характера радионуклиды широко рассеиваются в окружающей среде. Важную роль в этих процессах играет вода как универсальный растворитель. Концентрация радионуклидов в почве определяется содержанием их в материнской породе, а в природных водах — условиями их образования. В воздухе присутствуют радионуклиды как космогенного, так и земного происхождения. Особое значение имеет поступление из верхних слоев почвы радиоактивных газов: радона ( $^{222}\text{Rn}$ ), торона ( $^{220}\text{Tn}$ ), актинона ( $^{219}\text{An}$ ) и продуктов их распада.

Радионуклиды, находясь в смеси со стабильными элементами, поступают с пищей, водой и воздухом в организм человека и становятся источником постоянного облучения. С течением времени благодаря обменным процессам в организме устанавливается равновесное содержание радионуклидов, уровень которого зависит еще от концентрации их в продуктах питания, воде и воздухе, а дозные нагрузки еще и от физико-хими-

**Таблица 1**  
**Радионуклиды земной коры**

Радионуклид	$T_{1/2}$ , лет	Содержание в 1 т земной коры	
		г	Бк
$^{40}\text{K}$	$1.3 \cdot 10^6$	3.1	$7.8 \cdot 10^5$
$^{48}\text{Ca}$	$2.0 \cdot 10^{18}$	66	$4.9 \cdot 10^2$
$^{87}\text{Rb}$	$6.2 \cdot 10^{10}$	84	$2.1 \cdot 10^5$
$^{96}\text{Zr}$	$5.0 \cdot 10^{17}$	7.8	$1.8 \cdot 10^{-2}$
$^{115}\text{In}$	$6.0 \cdot 10^{14}$	0.1	$1.9 \cdot 10^{-1}$
$^{130}\text{Te}$	$1.0 \cdot 10^{21}$	0.003	$2.4 \cdot 10^{-7}$
$^{138}\text{La}$	$2.0 \cdot 10^{11}$	0.016	$1.4 \cdot 10^3$
$^{144}\text{Nd}$	$1.5 \cdot 10^{15}$	4.8	$2.6 \cdot 10^1$
$^{147}\text{Sm}$	$1.3 \cdot 10^{11}$	1.2	$7.7 \cdot 10^2$
$^{176}\text{Lu}$	$2.4 \cdot 10^{10}$	0.03	$9.7 \cdot 10^1$
$^{187}\text{Re}$	$> 1 \cdot 10^{10}$	0.0006	$1.0 \cdot 10^{-7}$
$^{232}\text{Th}$	$1.4 \cdot 10^{10}$	8	$3.2 \cdot 10^4$
$^{235}\text{U}$	$7.13 \cdot 10^8$	0.022	$1.8 \cdot 10^3$
$^{238}\text{U}$	$4.5 \cdot 10^9$	3.0	$3.7 \cdot 10^4$



**Таблица 2**  
**Основные составляющие естественного радиационного фона**

Источник облучения	Годовая эквивалентная доза облучения, мкЗв/чел:		
	внешнего	внутреннего	всего
Космические лучи:			
ионизирующие частицы;	300		300
нейтроны	55		55
Космогенные радионуклиды		15	15
Земные радионуклиды:			
$^{40}\text{K}$	150	180	330
$^{87}\text{Rb}$		6	6
Уран-радиевый ряд*			
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U}$		5	5
распад $^{230}\text{Th}$		7	7
распад $^{226}\text{Ra}$	100	7	107
$^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Po}$		1100	1100
$^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Po}$		120	120
Ториевый ряд			
распад $^{232}\text{Th}$		3	3
$^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$	160	13	173
$^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$		160	160
Всего	800	1600	2400

\*В радиоактивных рядах указаны этапы распадов, вносящих основные вклады в формирование доз.  
 В суммарных дозах учтены вклады от остальных радионуклидов, не указанных в таблице.

ческих свойств изотопов. Наибольшее значение в облучении имеют  $^{40}\text{K}$ , U, Th и продукты их распада. По оценкам НКДАР, за счет радона и торона формируется 3/4 годовой индивидуальной дозы получаемой от земных источников [3]. Радон по сравнению с торонам вносит в суммарную дозу значительно больший вклад, а дозы формируются в основном за счет дочерних продуктов распада этих изотопов.

Уровни радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в земной коре. Мощность дозы варьирует от 15 до 160 нЗв/час. Эквивалентные дозы от естественных источников в регионах с нормальным радиационным фоном приведены в табл.2. На Земле есть районы с более высокими уровнями: Индия, Бразилия, Китай, Иран, горные районы России (Кавказ) и др.

## Изменение естественного радиационного фона

Естественный радиационный фон Земли постоянно растет, и этот процесс, к сожалению, ускоряется. Происходит это главным образом за счет того, что на поверхность Земли постоянно извлекаются огромные количества полезных ископаемых: руды черных и цветных металлов, строительные материалы, органические энергоносители, минеральные удобрения. Рассеивание радиоактивных веществ из этих источников в биосфере и включение в биогеохимические циклы привело к повышению внешнего и внутреннего облучения всех растительных и животных организмов, включая человека. Повысились уровни ионизирующего излучения не только на поверхности Земли, но и в жилых и производственных помещениях.

Для гражданского и промышленного строительства часто используют содержащие радионуклиды промышленные отходы (например, золу шлаков черной и цветной металлургии). В плохо вентилируемых помещениях концентрации радона могут в десятки—сотни раз превышать его среднее содержание в наружном воздухе (для которого фоновая активность около  $3 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ ). Жители в таких условиях подвергаются интенсивному облучению, и в первую очередь у них поражаются органы дыхания. Ингаляционное поступление радона и его дочерних продуктов распада ведет к осаждению микроаэрозолей в верхних дыхательных путях\*. Особую опасность приобретает наличие радона и его продуктов распада в урановых рудниках. Впервые рак легкого (преимущественно бронхов) зарегистрирован в конце XIX в. у шахтеров, проработавших 13—35 лет на рудниках Шнееберга и Яхимова [4,5]. Кстати, было замечено, что возникновению рака у шахтеров способствовало курение.

Потенциальный источник радиации — весь комплекс предприятий атомной энергетики. Радионуклиды поступают во внешнюю среду не только при добыче урановой руды, но и при получении урановых концентратов и металлического урана, изготовлении ТВЭЛов, а также во время выбросов АЭС и др. Особую опасность представляет плутоний (наиболее токсичный радионуклид), загрязняющий атмосферу в результате деятельности радиохимических предприятий. Ингаляционное облучение плутонием персонала приводит вначале к легочной патологии (развитию опухолей в легких), затем поражаются костные и другие ткани организма.

\* Подробнее см.: Василенко И.Я. Горячие частицы // Природа. 1994. № 10. С. 25—31.

Кроме того, человек подвергается дополнительному облучению во время рентгенодиагностики или радиотерапии, а также полетов на современных самолетах. Облучение космонавтов обычно не превышает 5 мЗв, но при нахождении в космосе до полугода дозы достигают 55 мЗв. Дополнительным источником облучения населения становятся различные бытовые приборы.

Перечисленные факторы ведут к повышению концентрации радиоактивных веществ в окружающей среде и, как следствие, росту внешнего и внутреннего облучения населения. За истекшее историческое время дозные нагрузки на основную массу населения повысились незначительно, однако на тех, чья профессиональная деятельность связана с атомной энергетикой, они значительны.

## Искусственный радиационный фон

Одним из основных источников техногенного повышения радиационного фона Земли стали испытания ядерного оружия Соединенными Штатами, Советским Союзом, Англией, Францией и Китаем. Взорвано свыше 2 тыс. зарядов различной мощности, в том числе свыше 500 в атмосфере. Мощность всех ядерных зарядов составила 545 Мт (в тротиловом эквиваленте) при суммарной мощности по делению 217 Мт (около 40%), что привело к выбросу в атмосферу изотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , общие активности которых оценены в 26 и 20 МКи соответственно\*.

\* Напомним: в системе СИ единица радиоактивности — Бк (беккерель). Такую активность имеет источник, в котором происходит 1 радиоактивный распад за 1 с. Однако на практике чаще пользуются старой единицей активности — Ки (Кюри). В источнике с активностью 1 Ки происходит  $3.7 \cdot 10^{10}$  распадов в 1 с. Поэтому 26 МКи  $\approx 9.6 \cdot 10^{17}$  Бк.

Средняя плотность загрязнения в Северном полушарии составила по  $^{137}\text{Cs}$  140,  $^{90}\text{Sr}$  89 мКи/км<sup>2</sup> [2]. В результате ядерных взрывов в окружающую среду поступают продукты деления ядер урана и плутония. При этом образуется свыше 200 радиоизотопов средней части таблицы Менделеева (от цинка до гадолиния). Поэтому источником загрязнения стали продукты ядерного деления вместе с неразделившейся частью урана и плутония, а также радионуклиды наведенной активности [6].

По данным НКДАР при ООН, эквивалентная доза, полученная жителями Северного полушария в результате глобальных выпадений продуктов ядерного деления, составила 4.5 мЗв и Южного — 3.1 мЗв [1]. Эти дозы относятся к категории малых\*. Вклад внутреннего облучения за счет перорального и ингаляционного поступления радионуклидов и внешнего облучения составил 71.5 и 24% соответственно. Основное значение в формировании доз име-

\* Дозы до 2 мЗв принято считать малыми.

ли  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{96}\text{Zr}$ . Ожидаемая коллективная доза при полном их распаде составит  $3 \cdot 10^7$  чел·Зв. В зонах ближних выпадений при ядерных взрывах дозы облучения были значительно выше, а в отдельных случаях они даже достигали поражающих. Особую опасность представляло поступление в организм детей с продуктами питания изотопа  $^{131}\text{I}$ . Облучение населения за счет выбросов предприятий атомной энергетики в режиме нормальной эксплуатации незначительно, однако в случае крупной аварии ситуация резко меняется. Примером могут служить аварии на Южном Урале, ЧАЭС и др.

## Малые дозы радиации

Изменение радиационного фона Земли затрагивает не только ограниченные группы профессиональных работников, но и население в целом (табл.3). Широкое использование ионизирующих источников в народном хозяйстве, медицине, науке, военном деле потребовало регламентации

**Таблица 3**  
**Среднегодовые эквивалентные дозы облучения населения в России (Кириллов В.Ф. и др., 1988)**

Источник ионизирующего излучения	Вид облучения	Доза, мкЗв/чел	
Естественный радиоактивный фон	внешнее	650	
	внутреннее	1600	
	всего	2250	
Технологически измененный естественный радиационный фон: естественные радионуклиды, содержащиеся в стройматериалах и воздухе помещений	внешнее	100	
	внутреннее	1300	
	всего	1400	
минеральные удобрения	всего	0.15	
	угольные электростанции	всего	2
Искусственный радиационный фон:			
АЭС	глобальные выпадения, вследствие испытаний ядерного оружия	всего	0.17
	внешнее	10	
	внутреннее	15	
	всего	25	
Рентгенодиагностика и радиоизотопная терапия	всего	1400	
Суммарная доза от всех источников		5077	

**Таблица 4**  
**Допустимые дозы облучения персонала и населения**

Год	Категория облучаемых лиц	Допустимая доза, мЗв/год	Примечание
1946		600	Различий в допустимых дозах внешнего облучения персонала (участников испытаний ядерного оружия) и населения не делалось
1950		300	В случае аварии допускалось однократное облучение дозой 250 мЗв, но не более 1000 мЗв за год
1955		15	то же
1957	Категория А*	150	то же
	Категория Б**	15	
	Все население	Не выше природного фона	
1961	Категория А*	50	то же
	Категория Б**	5	то же
	Все население	0.5	
1969	НРБ-69***		Впервые введено понятие «предел» для категории Б и всего населения
	Категория А	50	
	Категория Б	5	
	Все население	1.7	
1976	НРБ-76		
	Категория А	50	
	Категория Б	5	
1987	НРБ-76/87		
	Категория А	50	
	Категория Б	5	
1996	НРБ-96		Указанные допустимые пределы доз введены с 1 января 2000 г.
	Категория А	20	
	Категория Б	5	
	Население	1****	

\* Категория А — персонал.

\*\* Категория Б — ограниченная часть населения, не работающая непосредственно с источниками излучения, но которая по условиям размещения или проживания может подвергаться облучению.

\*\*\* НРБ — Нормы радиационной безопасности.

\*\*\*\* Допустимая доза для населения 1 мЗв/год отвечает облучению людей в районах с нормальным уровнем естественного фона. В принятых ранее единицах она соответствует 0.1 бэр/год или мощности облучения 11 мкР/ч.

облучения для всего населения. В 1934 г. впервые Международной комиссией по защите от рентгеновского излучения и радия была рекомендована толерантная доза (200 мР/сут). В последующем, по мере выявления неблагоприятных последствий облучения, а также с накоплением знаний и опыта защиты, нормативы, к разработке которых подключилась и Национальная комиссия России, многократно пересматривались

в сторону их снижения (табл.4).

Какова опасность малых доз радиации? До сих пор нет однозначного ответа на этот вопрос. Критерием опасности облучения считают учащение случаев онкологических заболеваний и генетических нарушений по отношению к спонтанному уровню. Дополнительный рост числа таких недугов становится значимым в экономическом плане. Возможный риск возникновения

заболеваний не должен превышать риск их возникновения в благополучных отраслях производства.

Любая деятельность человека, как известно, связана с определенным риском. Человек и общество идут на риск ради получения материальной выгоды. При регламентации допустимого облучения персонала и населения исходят из гипотезы беспороговой зависимости доза—эффект, считая, что при любой сколь угодно малой дозе, облучение может привести к возникновению злокачественных новообразований и генетических нарушений. Для оценки риска при малых дозах эффекты, наблюдаемые при средних и больших дозах, экстраполируют к величине 10 мЗв, принимая начальный участок дозовой зависимости линейным. Такой подход наиболее приемлем в обеспечении радиационной безопасности. Однако остается не ясным, будет ли ответная реакция организма на облучение при малых дозах такой же, как и при больших.

Согласно последним оценкам, среди 1 млн человек, облученных дозой 10 мЗв каждый, злокачественные новообразования могут быть спровоцированы у 480 человек, причем в 400 случаях — со смертельным исходом, в 80 — с серьезными генетическими нарушениями [7]. Эти величины составляют лишь незначительную часть спонтанной заболеваемости: среди 1 млн человек от онкологических заболеваний умирает около 200 тыс., и это число увеличивается ежегодно примерно на 2%.

Установить реальную величину риска от облучения малыми дозами в эксперименте и эпидемиологических наблюдениях невероятно сложно. Для статистически значимого установления зависимости доза—эффект на уровне облучения 0.1 и 0.01 Зв наблюда-

емые группы и аналогичные контрольные должны насчитывать соответственно 100 тыс. и 10 млн человек. В экспериментах потребуется также огромное число подопытных животных. При этом необходимо исключить или учесть (что затруднительно) влияние других вредных факторов внешней среды, которое может быть более сильным, чем облучения в малых дозах. В условиях глобального загрязнения внешней среды различного рода физическими, химическими и биологическими агентами сделать это практически невозможно.

Решать проблему малых доз радиации необходимо комплексно — сочетая теоретические исследования с экспериментальными и эпидемиологическими. Кратко остановимся на особенностях биологического действия радиации. Поглощение энергии в организме происходит в чрезвычайно короткие промежутки времени, измеряемые ничтожно малыми долями секунд, и сопровождается ионизацией и возбуждением молекул и атомов с последующим образованием высокоактивных в химико-биологическом отношении радикалов. Эти первоначальные изменения, не имеющие порога, реализуются на уровне клетки, клеточных ассоциаций и тканей в биологические изменения, которые протекают с различной скоростью. Одновременно происходит и восстановление повреждений на всех уровнях: клетка, ткань, орган и организм в целом. Считают, что 90% поврежденный восстанавливается (при облучении в несмертельных дозах). Радиационные повреждения у непогибших клеток могут сохраняться в течение длительного времени, передаваясь при их делении. Остаточные повреждения служат основой формирования отдаленной патологии.

При остром внешнем облучении формирование доз происходит в короткие промежутки времени, а при поступлении радионуклидов в организм — в течение длительного времени, иногда в течение всей жизни человека (например, при поступлении плутония). Биологический эффект определяется не только величиной поглощенной дозы, но и пространственно-временным распределением ее в теле человека. Важное значение имеют морфофункциональные особенности тканевых структур (где поглощается энергия) определяющие как степень повреждения, так и интенсивность восстановительных процессов.

По современным данным, облучение человека может привести к детерминированным и стохастическим последствиям. Первые проявляются после гибели критического числа клеток, потерю которых организм не может компенсировать размножением оставшихся жизнеспособных клеток. Клинически детерминированные эффекты выражаются в функциональных нарушениях отдельных органов и организма в целом после облучения и проявляются, когда доза превышает некоторый порог. С ростом дозы тяжесть поражения быстро нарастает. Величина порога для разных тканей неодинакова. Раньше других страдают «критические» органы с иерархической структурой тканей и максимальной скоростью клеточного обновления. Наиболее радиочувствительны — красный костный мозг, хрусталик глаза и органы размножения. Пороговая доза для кратковременного угнетения кроветворения при остром облучении — 0,5 Зв, для помутнения хрусталика — 0,5–2 Зв, временная стерильность у мужчин возникает при дозе 2,5–6 Зв. Для плода доза 0,2 Зв чревата серьезной умствен-

ной отсталостью ребенка после рождения.

В производственных условиях персонал (а в аварийных условиях и население на радиоактивно-загрязненной местности) подвергается хроническому облучению, как правило, в малых дозах и с низкой мощностью. Биологическая эффективность такого облучения существенно ниже острого, что связано с включением компенсаторных механизмов, которые в таких условиях могут в течение определенного времени обеспечивать нормальную жизнедеятельность организма. Для хронического облучения характерно медленное развитие нарушений. При длительном слабоинтенсивном облучении (1 мЗв в год) развитие хронической лучевой болезни становится возможным, когда накопление суммарной дозы достигает несколько зивертов и больше. В реакции организма можно выделить четыре фазы: отсутствие или слабая выраженность функциональных нарушений, напряжение или нарушение защитно-компенсаторных механизмов вплоть до структурных повреждений. О развитии хронической лучевой болезни свидетельствуют клинические проявления недостаточности компенсаторных механизмов. Длительность фаз и переход из одной в другую зависит от мощности и величины поглощенной дозы, действия других вредных факторов и условий жизни человека.

Стохастические эффекты (злокачественные новообразования и генетические нарушения) обусловлены повреждением клеток на молекулярном уровне от случайного взаимодействия заряженной частицы излучения с молекулой ДНК. Такие последствия могут проявиться в отдаленные сроки при поражении даже одной клетки. Таким образом, вероятность возникновения нарушений в организме пропорци-



ональна поглощенной дозе, а их тяжесть от величины дозы не зависит. Однако это всего лишь гипотеза, и многие исследователи с ней не согласны, так как, по данным эпидемиологических наблюдений и экспериментальных исследований, беспороговое действие радиации пока не подтверждено.

Широкомасштабные эпидемиологические наблюдения не выявили статистически значимых различий в состоянии здоровья населения между регионами с повышенным и «нормальным» уровнями естественной радиации. Оценивались частота злокачественных новообразований, состояние репродуктивной функции, продолжительность жизни, генетические нарушения и другие показатели.

Немало исследователей вообще отрицают вредное влияние естественной радиации и считают ее необходимым компонентом окружающей среды, в которой проходило и проходит развитие жизни на Земле. Биота в процессе эволюции адаптировалась к слабому облучению. В специальных опытах показано, что радиация — физиологически значимый фактор роста и развития всего живого [8]. Стимулирующее действие малых доз ионизирующих излу-

чений на биологические процессы (явление радиационного гормезиса) выражается в повышении жизненной активности, сопровождающемся улучшением здоровья, плодовитости, продолжительности жизни, снижением числа онкологических заболеваний. Повреждающее действие радиации проявляется лишь с повышением дозы. Радиационный гормезис вписывается в общеприродный закон Арндта—Шульца.

Более того, по мнению А.М.Кузина [9], живая ткань после облучения в малых дозах сама становится источником некоего вторичного, биологического, излучения, оказывающего стимулирующее действие на живые организмы. Автор приходит к заключению о необходимости природной радиации для возникновения жизни на Земле.

Любопытные данные опубликовал американский исследователь Б.Коэн. В широкомасштабном эпидемиологическом исследовании, во время которого было обследовано 200 млн человек (80% населения США), изучалось влияние радона на смертность людей от рака легких. Содержание газообразного радионуклида в жилых помещениях варьировало в широких пределах, в единицах радиоактивности — от 20 до 250 Бк·м<sup>-3</sup>. Выяснилось, что

в помещениях с меньшим содержанием радона смертность среди проживающих выше [10]. Выводы Коэна — своего рода подтверждение результатов исследований и других авторов [11]. Видимо, в процессе эволюции в организме выработалась система восстановления, регенерации и элиминации повреждений молекул и клеток. Малые дозы радиации стимулируют образование соответствующих ферментов репарации ДНК, поврежденных не только радиацией, но и другими агентами. С повышением дозы защитные механизмы уже не могут обеспечить гомеостаз организма.

Итак, радиационный риск при малых дозах, если допустить отсутствие порога, столь невелик, что возможные стохастические эффекты трудно, практически невозможно выявить. При малых дозах облучения латентный период развития опухолей может превысить продолжительность жизни человека и опухоли не будут регистрироваться, что оправдывает введение «практического порога». По мнению экспертов МКРЗ, имеющихся данных пока еще недостаточно, чтобы учитывать стохастические эффекты в рекомендациях по радиационной безопасности людей; для более четких выводов необходимы дальнейшие исследования. ■

## Литература

1. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. Доклад Научного комитета по действию атомной радиации при ООН. Нью-Йорк, 1982. Т.1.
2. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации. Доклад на Генеральной Ассамблее ООН за 1988 г. М., 1992.
3. Радиация: дозы, эффекты, риск. М., 1988.
4. Холзэйд Д.А., Рашинг Д.Е., Коулман Р.Д. и др. Проблемы радона в урановых рудниках. М., 1961.
5. Радиационная защита на урановых и других рудниках: Публикация Международной комиссии по радиологической защите №24. М., 1979.
6. Василенко И.Я. Биологическая опасность продуктов ядерного деления // Природа. 1995. №4. С.78—86.
7. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях Международной комиссии по радиологической защите 1990 года: Публикация № 61. М., 1994.
8. Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующих излучений на биологические процессы. М., 1977.
9. Кузин А.М. Вторичное биологическое излучение — лучи жизни. Пушино, 1997.
10. Coben B. // Health Phys. 1995. V.67. P.157—174.
11. Кеурич-Маркус И.Б. // Мед. радиология и радиационная безопасность. 1977. №2. С.18—24; Кириллов В.Ф., Книжников В.А., Коренков И.П. Радиационная гигиена. М., 1988.

# Как оценивать генетический риск облучения

В.А.Шевченко

**М**ировое научное сообщество уже в течение нескольких десятилетий занимается изучением генетических последствий облучения человека ионизирующей радиацией. Обширные материалы по естественному и индуцированному мутагенезу, различные теоретические разработки объединяет Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН). Периодически, каждые пять лет, эксперты НКДАР составляют прогнозы генетического риска. Изменились ли сегодня наши представления о естественной и индуцированной изменчивости? В этой статье мы попытаемся ответить на этот вопрос.

## Спонтанный мутагенез

Оценка генетического риска от действия ионизирующего излучения включает два главных вопроса: анализ естественного (спонтанного) мутагенеза и количественное измерение эффектов радиации. Начнем со спонтанного мутагенеза. Ведь только зная его уровень, можно рассчитать возможные последствия радиационного воздействия.

© В.А.Шевченко



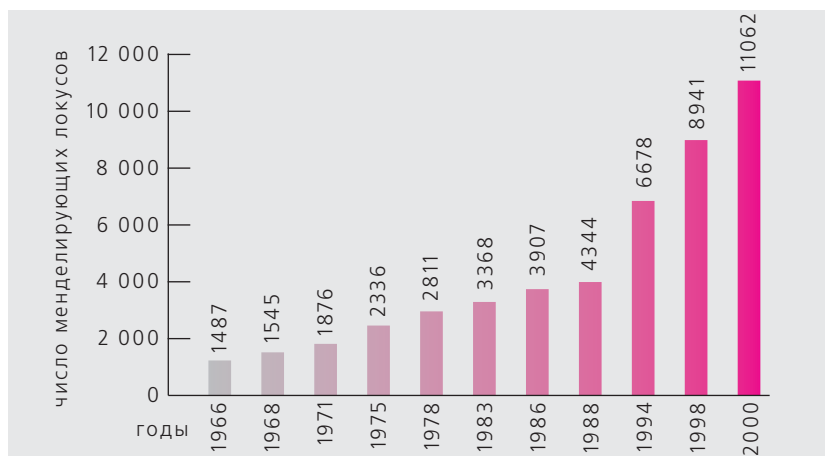
***Владимир Андреевич Шевченко**, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией радиационной генетики Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН, эксперт от России Научного комитета ООН по действию атомной радиации. Основные научные интересы связаны с экологической и радиационной генетикой.*

Мутации в любом из генов человека либо отклонения в структуре хромосом приводят к тем или иным изменениям в его фенотипе, степень которых зависит от важности вовлеченных в мутагенез генов, масштабов нарушения и характера наследования возникших мутаций.

Рассмотрим классификацию генетических изменений человека с точки зрения фенотипов, т.е. генетических болезней. Учитывая механизмы их возникновения и характер наследования, их подразделяют на менделевские, хромосомные, мультифакториальные, генетические болезни со-

матических клеток и болезни генетической несовместимости матери и плода.

Большинство специалистов считает, что геном человека насчитывает от 50 тыс. до 100 тыс. генов. Благодаря успехам международной программы «Геном человека» и интенсивному изучению наследственных болезней в клиниках к январю 2000 г. было установлено 11062 менделевские наследственные болезни [1]. В отношении многих из них изучена локализация мутантных генов и проведен молекулярный анализ их продуктов. Для более чем 6980 генов с хорошо известной функцией



Число известных менделирующих локусов, которые контролируют наследственные заболевания человека. Гистограмма построена по данным каталогов В.А.Макьюсика.

найлены специфические сайты расположения в хромосомах человека. С другой стороны, в определенных участках хромосом картировано более 1100 клинических болезней.

Взаимосвязь между мутациями и менделевскими болезнями часто описывают простой концепцией: одна мутация — одна болезнь. Хотя эта концепция нашла подтверждение при описании многих менделевских болезней, такая взаимосвязь наблюдается далеко не всегда. При анализе аллельных вариантов 767 генов человека обнаружено, что 658 генов ассоциированы

с какой-либо одной клинической болезнью, 71 — с двумя, 30 — с тремя, 5 — с четырьмя и по одному гену — с пятью, шестью и семью болезнями.

Такие генетические явления, как мозаицизм, геномный импринтинг и экспансия аллелей, вносят дополнительные сложности в фенотипическую реализацию генных мутаций. Например, при мозаицизме у одного и того же индивидуума присутствуют нормальные и мутантные клетки (это относится как к соматическим, так и к зародышевым клеткам). Если мозаицизм в зародышевых клетках затрагивает доми-

нантную болезнь, она может не проявиться у данного индивидуума, но для потомков, унаследовавших мутантный ген, ее риск сохраняется.

О существовании тех или иных генов мы узнаем, когда есть возможность изучить их мутации. Обычно спонтанная частота мутаций отдельных генов у человека составляет  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  на гамету за поколение, причем она зависит от возраста родителей, особенно мужчин.

Согласно результатам молекулярно-генетических исследований, менделевские болезни возникают вследствие точковых или протяженных мутаций, а также микроделций [2]. Различия между этими изменениями связаны с размерами затронутых фрагментов молекулы ДНК (табл.1).

После обширных исследований А.Чейзела [3] особое внимание привлекают так называемые мультифакториальные болезни, которые имеют генетическую компоненту, но не подчиняются менделевскому наследованию. Такие болезни рассматривают как результат взаимодействия большого числа факторов генетической природы и окружающей среды. К ним относят коронарные болезни сердца, гипертонию, астму, диабет, большую часть раков и др. Широкое распространение

Таблица 1

**Молекулярная природа мутаций, приводящих к менделевским болезням**

Категория болезней	Число менделевских болезней, связанных с мутациями:			Всего
	точковыми (А)	точковыми и протяженными (В)	протяженными и микроделеционными синдромами	
Аутосомные доминантные	73	18	25	116
Сцепленные с X-хромосомой	16	24	8	48
Итого	89 (54%)	42 (26%)	33 (20%)	164
Аутосомные рецессивные	111	27	7	145
Всего	200 (65%)	69 (22%)	40 (13%)	309

А — замены основания; В — преимущественно делеции ДНК.

Таблица 2

Оценка радиационного риска методом удваивающей дозы (1 Зв на поколение)

Класс болезней	Естественная частота на 1 млн новорожденных	Эффект воздействия на поколение		
		поколения	равновесный уровень	
		I	II	
Аутосомные доминантные и сцепленные с X-хромосомой	10 000	1500	1300	10 000
Аутосомные рецессивные	2500	5	5	1500
Хромосомные:		240	96	400
вследствие структурных аномалий	400	*	*	*
вследствие изменения числа хромосом	3400	*	*	*
Врожденные аномалии	60 000	*	*	*
Другие мультифакториальные болезни	600 000	*	*	*
Рано проявляющиеся доминантные мутации	*	*	*	*
Наследуемые раки	*	*	*	*
Общий оцениваемый риск		1700	1400	12 000

\* – отсутствие данных или очень низкая эффективность воздействия.

мультифакториальных болезней — причина высокой заболеваемости и смертности населения.

Большинство мультифакториальных болезней не сводятся к клиническим проявлениям дефектов одиночных генов, но среди родственников больных они встречаются чаще, чем в общей популяции. Правда, и в группах риска заболеваемость родственников и особенности самой болезни в разных семьях различны.

С учетом эпидемиологической классификации и возможного проявления мультифакториальных болезней их можно разделить на врожденные аномалии и хронические. Врожденные аномалии представляют собой структурные дефекты у новорожденных (анэнцефалия, мышечно-скелетные аномалии, расщепленное нёбо или губа), присутствие которых есть конечный результат дисморфогенеза. В случае изолированных врожденных аномалий можно проследить путь от какой-то одной локальной ошибки (мутации) в морфогенезе до наблюдаемого эффекта. Если во время внутриутробного развития ребенка возникают две или более морфогенетические ошибки, говорят о множественных врожденных аномалиях. Сравнение врожденных аномалий в Венгрии и Запад-

ной Канаде (Британской Колумбии) показывает, что общие частоты их проявления составляют 6—7%, а 2—3% приводят к весьма серьезным дефектам или к летальному исходу. У родственников, носителей этой болезни, частоты врожденных аномалий выше, чем в целом для популяции.

Хронические мультифакториальные болезни (диабет, коронарные болезни, эпилепсия, астма, псориаз и др.), как и врожденные аномалии, не подчиняются менделевским законам наследования. Базис таких болезней — генетически восприимчивые индивидуумы, у которых та или иная патология зависит от действия иных генов, диеты, физической активности, влияния различных факторов среды и др.

Исследования, проведенные в Венгрии, показали, что хронические мультифакториальные болезни (всего около 30) в популяции составляют 65%, включая все возрастные группы. Эти результаты хорошо совпадают с данными, полученными в других странах. Отдельные индивидуумы имеют две и более таких болезней, причем большинство из них дают о себе знать в среднем возрасте.

В целом естественная изменчивость человека по всем

категориям болезней достаточно высока — 70% различных генетических отклонений от нормы в течение 70 лет, принятых условно за среднюю продолжительность жизни человека. Другими словами, более чем 70% людей в течение жизни имеют хотя бы одно генетически обусловленное отклонение, сокращающее жизнь либо мешающее нормальной работоспособности. По данным, полученным в Канаде, США и Венгрии, рассчитана обобщенная естественная изменчивость человека (табл.2) [4]. Эксперты НКДАР прогнозируют ее дальнейший рост, поскольку некоторые типы генетической изменчивости человека пока количественно не учитываются, но безусловно имеют высокую мутационную компоненту. При подготовке новых оценок радиационного риска человека, которые будут рассмотрены в этом году, эксперты столкнулись с рядом проблем, вызванных в основном стремительным прогрессом в молекулярной генетике.

## Методы оценки генетического риска

Для прогноза генетических эффектов после облучения в первом поколении используют два метода: удваивающей



дозы и прямой. Первый базируется на определении дозы, вызывающей такой же генетический эффект, как при естественном мутагенезе (и, значит, удваивает эффект). При применении этого метода надо иметь в виду, что спонтанный мутагенез в популяциях человека — это исторически сложившийся стационарный процесс, зависящий от естественного уровня радиации и скорости мутационного отбора — фактора, который в значительной мере определяет естественную изменчивость человека.

При длительном хроническом облучении мутагенез становится стационарным лишь через семь—десять поколений после начала облучения. В этом случае радиационно индуцированный мутагенез составит дополнительную к естественной изменчивости человека компоненту, величина которой будет зависеть от дозы. При удваивающей дозе уровни индуцированного мутагенеза и естественной компоненты сравниваются и общая интенсивность мутагенеза удваивается. По оценке экспертов НКДАР ООН, удваивающая доза для человека при хроническом облучении малыми дозами равна 1 Зв на поколение. В первом поколении отмечается приблизительно десятая часть мутаций, отвечающих стационарному уровню, достигаемому через семь—десять поколений.

В 1988 г. оценки генетических эффектов в первом поколении проводились без учета всех категорий генетической отягощенности человека. Принимались во внимание только аутосомные доминантные, сцепленные с X-хромосомой, рецессивные и хромосомные болезни. По этим оценкам их суммарная частота не превышала 17 случаев на 1 млн новорожденных при дозе 10 мЗв. Нетрудно подсчитать, что болезней, по кото-

рым тогда оценивался риск при облучении человека, всего 2.4% от известных в настоящее время. Это значит, риск в отношении врожденных аномалий и мультифакториальных болезней (а их 97.6% среди наследственной отягощенности человека) не учитывался. Конечно, тогда не было единого мнения об адекватности использования удваивающей дозы в 1 Зв по отношению к мультифакториальным болезням и тем более о величине мутационной компоненты, какую надо использовать для расчетов.

Оценивать радиационный риск можно и с помощью прямого метода, определяя частоты индуцированных мутаций отдельных генов и aberrаций хромосом. Например, зная частоту мутаций отдельных генов в расчете на 10 мЗв и число структурных генов, можно оценить суммарную частоту появления генных мутаций при той или иной дозе. Расчеты, проделанные в 1988 г. по данным прямого метода, дали такую же величину риска, как и метод удваивающей дозы. Несмотря на кажущуюся простоту подхода, прямой метод оценки не менее сложен, чем метод удваивающей дозы, поскольку также ограничен недостаточным знанием структуры генома человека и неточностями при определении частоты индуцированных мутаций. Некоторый застой в развитии прямых методов оценки риска за последние годы предопределил выбор специалистов, готовящих доклады НКДАР 2001 г., в пользу метода удваивающей дозы.

## Генетические последствия

Стремительный прогресс в изучении спонтанных наследственных болезней у человека, анализ их молекулярной природы и особенностей

фенотипического проявления в различных условиях позволили по-новому подойти к оценке радиационного риска. До 1972 г. основной моделью для такого прогноза служила модель человек—мышь (соотношение спонтанной изменчивости человека и частоты индуцированных мутаций у мыши). На протяжении свыше 20 лет (до 1994 г.) в расчетах генетического риска использовали частоту спонтанных и индуцированных мутаций у мышей (модель мышь—мышь). При помощи разработанных НКДАР ООН методов экстраполяции, основанных на применении ряда установленных эмпирических коэффициентов пересчета, по данным, полученным в экспериментах на мышах, рассчитывали риск для человека.

Накопленный к настоящему времени обширный материал по спонтанному мутагенезу у человека привел к пересмотру этого подхода. Имеется еще несколько обстоятельств, затрудняющих экстраполяцию на человека оценок, полученных для мыши. Во-первых, скорости накопления спонтанных мутаций у мыши и человека с возрастом значительно расходятся. Если частота спонтанных мутаций у потомков мыши не зависит от возраста самцов, то у мужчины она может увеличиться с возрастом в несколько раз. Во-вторых, у человека иногда выявляют мозаики (мутация не во всех клетках) и кластеры (мутация не у всех потомков), которые необходимо учитывать при анализе спонтанного мутагенеза. Выявить кластеры у людей удастся лишь при наблюдениях за большими семьями (больше трех детей). В экспериментах же на мышах, дающих большое потомство, обнаружить их гораздо легче. В докладах НКДАР ООН, базирующихся на модели мышь—мышь, кластеры в расчеты не включались.

Таблица 3

Оценка радиационного риска человека с учетом корректирующего фактора при хроническом облучении 1 Зв на поколение

Класс болезней	Естественная частота на 1 млн новорожденных	Риск на 1 млн новорожденных поколения	
		I	II
Менделевские			
Аутосомные доминантные и сцепленные с X-хромосомой	16 500	750–1500	1300–2500.
Аутосомные рецессивные	7500	0	0
Хромосомные	4000	–	–
Мультифакториальные			
Хронические мультифакториальные	650 000	250–1200	250–1200
Врожденные аномалии	60 000	2000	2000
Всего	738 000	3000–4700	3550–5700
Общий риск на 1 Зв, % от естественной частоты мутирования		0.41–0.64	0.48–0.77

С другой стороны, при анализе частоты спонтанного мутагенеза у человека они всегда учитываются. Пока нет методик, позволяющих сравнивать вероятность появления кластеров у мыши и человека. Не ясно также, как использовать данные по мышинным мозаикам и кластерам в оценках мутагенеза человека.

Таким образом, сегодня при оценке радиационного риска для человека наиболее перспективна модель человек—мышь. Для учета спонтанных мутаций у человека отобраны 26 доминантных болезней, связанных с аутосомными генами, которые включают 135 локусов. Средняя частота спонтанных мутаций оценивается в  $(2.93 \pm 0.64) \cdot 10^{-6}$  на локус за поколение [3].

Общую частоту мутаций у мыши под воздействием ионизирующих излучений оценивают по рецессивным мутациям [2, 5], по биохимическим изменениям, которые вызываются мутациями в генах, кодирующих синтез белков и ферментов [6], а также по аутосомным доминантным мутациям (всего 72 локуса). Средняя частота мутирования в них при хроническом облучении низкими дозами —  $(0.35 \pm 0.09) \cdot 10^{-5}$  на 1 Гр.

В соответствии с моделью человек—мышь величина уд-

ваивающей дозы равна отношению частоты спонтанных мутаций у человека (в среднем для 135 локусов) к частоте индуцированных мутаций у мыши (средней по 72 локусам), т.е.  $0.84 \pm 0.31$  Гр, что близко к 1 Гр. Таким образом, оценка удваивающей дозы в 1 Гр, которой НКДАР ООН придерживается уже несколько десятилетий, совпадает с оценкой, полученной на основе последних данных о молекулярной природе наследственных болезней у человека и обобщенной оценки частоты мутирования во многих локусах у мыши при воздействии ионизирующих излучений.

Величина, обратная удваивающей дозе, показывает относительный мутационный риск на единицу дозы. Для аутосомных рецессивных болезней такой риск считается незначительным, поскольку рецессивные мутации не приводят сразу к болезни. Для мультифакториальных болезней и для врожденных аномалий ситуация с оценкой риска намного сложнее, поскольку отсутствует прямая связь между мутациями и их фенотипическим проявлением (болезнями).

Еще в 1972 г. была предложена концепция мутационной компоненты [7], которую определили как функцию частоты

мутаций, селекции, воздействия факторов среды и рекомбинации. В целом для мультифакториальных болезней эта компонента колеблется от 5 до 50%. Согласно современным оценкам, полученным с помощью компьютерного моделирования, в первых нескольких поколениях после хронического облучения родителя доля этой составляющей не превышает 2%, а для врожденных аномалий пока однозначно не определена.

Казалось бы, зная величины относительного мутационного риска на единицу дозы и мутационной компоненты для различных классов болезней, легко рассчитать генетический риск на единицу дозы. Однако это не так. Имеется еще одно важное обстоятельство, не учитывавшееся ранее: молекулярно-генетические исследования последних лет показали, что спектры спонтанных и индуцированных изменений ДНК существенно различаются. Если при спонтанном мутагенезе 65% изменений ДНК относится к точковым мутациям (табл.1), то при радиационном в основном возникают микроделеции, причем протяженность участков ДНК, охваченных ими, может быть различной — от части одного гена до нескольких генов.

С 1972 и до 1993 г. специа-

листы придерживались гипотезы, предполагавшей одинаковый характер изменений, возникающих в ДНК при спонтанном и радиационном мутагенезе. Мы в своих оценках генетического риска также исходили из этой гипотезы [8]. На ней же базируется метод удваивающей дозы, поэтому применять его для оценки генетического риска достаточно сложно. Для разрешения возникших трудностей предложено ввести еще один показатель, который рассчитывается отдельно для каждого класса мутаций (доминантных аутосомных, сцепленных с X-хромосомой, мультифакториальных и др.) с учетом их реализации в определенные болезни.

Появилась новая концепция потенциальной способности восстановления с введением в расчеты корректирующего фактора [9]. При анализе микроделеционных синдромов у мыши и человека выяснилось, что мультилокусные мутации, вызванные микроделециями, не всегда выражены фенотипически; они наблюдаются у новорожденных детей

только в небольшой части генотипов. Рассчитанные корректирующие факторы для аутосомных доминантных и сцепленных с X-хромосомой болезней человека варьируют в интервале 0.15—0.3, а для мультифакториальных — 0.02—0.09. На основе этих данных получена общая картина генетического риска облучения человека (табл.3).

По сравнению с оценками, принятыми НКДАР в 1982—1994 гг. (табл.2), суммарная величина генетического риска стала больше. В первом поколении с учетом мультифакториальных болезней и врожденных аномалий (ранее не учитываемых) она увеличилась в 1.8—2.8 раза, во втором — в 2.5—4.0. Более высокий риск во втором поколении ожидается в основном за счет роста аутосомных доминантных и сцепленных с X-хромосомой болезней. Возможно, при хроническом облучении человека в третьем и последующих поколениях генетический риск увеличится в первую очередь из-за мультифакториальных болезней.

Важно отметить, что сторонники модели мышь—мышь, свыше 20 лет успешно применявшие ее для оценки генетического риска, отнюдь не считают, что их подход себя исчерпал. Они полагают, что основные трудности, возникшие в связи с использованием материалов по спонтанному мутагенезу у мышей для оценки риска облучения человека, можно преодолеть. Так, П.Б.Селби [10], базируясь на обширных данных по спонтанному и индуцированному мутагенезу в семи локусах мыши с учетом кластеров, оценил удваивающую дозу по модели мышь—мышь в 5 Гр. Оценка риска, рассчитанная на основе этих данных, оказалась в пять раз ниже по сравнению с величиной, которая следует из модели человек—мышь.

Таким образом, к настоящему времени оценки генетического риска, использующие две указанные модели, существенно расходятся. Налицо концептуальный кризис, который в ближайшее время должен быть разрешен в научных дискуссиях. ■

## Литература

1. *McKusick V.A.* Mendelian Inheritance in Man. Baltimore, 1994.
2. *Carter C.O.* // J. Med. Genet. 1977. V.14. P.316—320.
3. *Czeizel A.* // Acta Paediat Acad. Sci. Hungarical. 1978. №19. P.149—156.
4. Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988. Report to the General Assembly. N.Y., 1988.
5. *Lyon M.F., Morris T.* // Mutat. Res. 1969. V.8. P.191—198.
6. *Neel J.V., Lewis S.E.* // Annu. Rev. Genet. 1990. V.24. P.327—362.
7. The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (BEIR Report). United States Government printing Office, 1972.
8. *Shevchenko V.A.* Assessment of genetic risk from exposure of human population to radiation // Consequence of the Chernobyl Catastrophe: Human Health, 1996. V.1. P.46—61.
9. *Sankaranarayanan K.* // Радиационная биол. и радиоэкол. 2000. Т.40. №5. С.621—626.
10. *Selby P.B.* // Genetica. 1998. V.102—103. P.445—462.

# Роль лесных экосистем при радиоактивном загрязнении

А.И.Щеглов, О.Б.Цветнова

**П**роблема глобального загрязнения окружающей среды во второй половине XX в. привела к осознанию важности эколого-биосферной роли лесов при различного рода техногенных выпадениях, в том числе и радиоактивных. Об этом впервые (1950—1960) заговорили видные ученые прошедшего столетия (Н.В.Тимофеев-Ресовский, В.М.Клечковский, А.А.Молчанов, Р.М.Алексахин, Ф.А.Тихомиров и др.), что привело к формированию новой научной дисциплины — лесной радиоэкологии. В частности, было показано, что леса характеризуются высокой удерживающей способностью по отношению к аэральным радиоактивным выпадениям и медленным самоочищением надземной части растительного яруса, а продукция лесного хозяйства имеет более высокие уровни загрязнения по сравнению с сельскохозяйственной. Лесные биогеоценозы, и в первую очередь хвойные, относятся к наиболее радиочувствительным компонентам биосферы наряду с млекопитающими. Ярким подтверждением этих выводов стали результаты многолетних (1986—1999) исследований

лесных экосистем, проведенных сотрудниками нашей лаборатории в наиболее пострадавших от аварии на Черно-

быльской АЭС районах европейской части СНГ (Тульская, Калужская, Брянская области России, 30-километровая чер-



**Алексей Иванович Щеглов**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией радиоэкологии факультета почвоведения Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — радиоэкология, биогеохимия, почвоведение. Автор пяти монографий и шести научно-практических руководств по ведению лесного хозяйства и радиационного мониторинга на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.



**Ольга Борисовна Цветнова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — радиоэкология, микология, почвоведение.

Авторы — участники ликвидации экологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС (1986, 1988—1999).

© А.И.Щеглов, О.Б.Цветнова

нобыльская зона отчуждения на Украине). Загрязненная территория рассматривалась как единый комплекс экосистем и ландшафтов, связанных общими биогеохимическими потоками элементов, а в сфере объектов исследований вовлекались все компоненты экосистем. Выяснилось, что лесные экосистемы играют важную роль в аккумуляции радионуклидов не только на этапе аэральных выпадений, но и в последующем — в сдерживании вертикальных и горизонтальных потоков элементов за пределы зоны первичного загрязнения.

Масштабы чернобыльской аварии были столь велики, что значимому радиоактивному загрязнению ( $>1$  Ки/км<sup>2</sup>) только в пределах центральной части Восточно-Европейской равнины подверглись несколько природно-климатических зон: от южнотаежной до лесостепной и степной. На большей части территориально загрязненной территории под лесом сформированы кислые, ненасыщенные, слабогумусированные, хорошо дрениро-

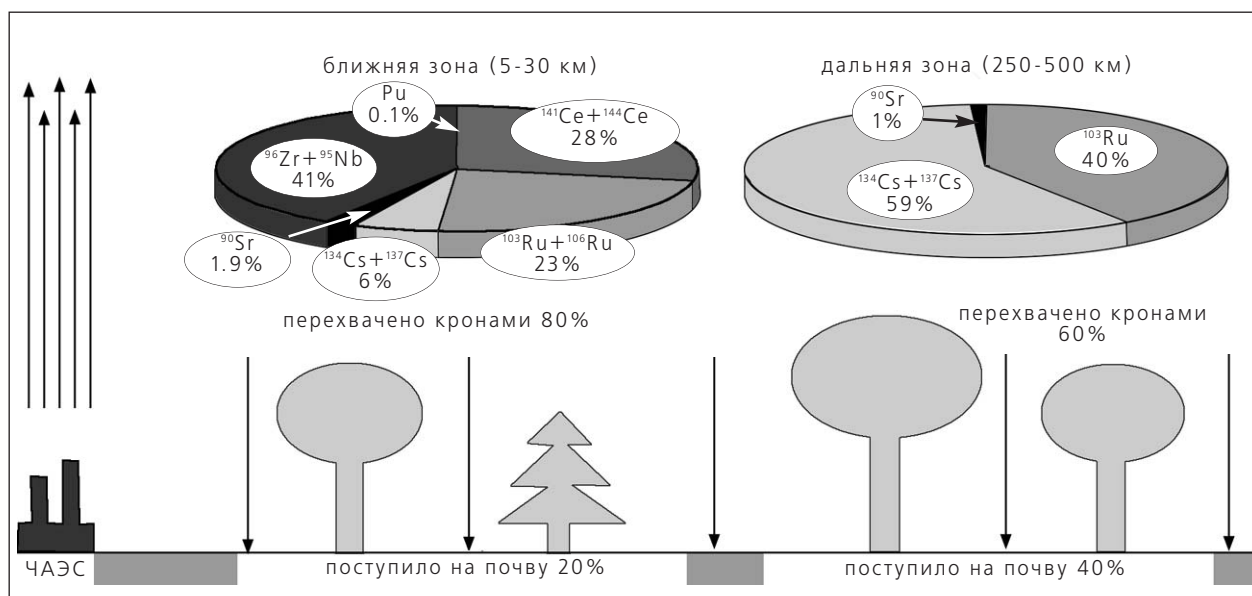
ванные (содержание песка около 95%) лесные почвы, которые слабо удерживают соединения различной природы, что способствует интенсивной профильной и ландшафтной миграции радионуклидов. В дерново-подзолистых и подзолистых песчаных почвах автоморфных ландшафтов единственный геохимический барьер на пути вертикальной миграции радионуклидов — лесная подстилка. Специфика минералогического состава этих почв допускает фиксацию цезия глинистыми минералами лишь в тонком подстилочном слое. В целом же комплекс физико-химических свойств рассматриваемых почв предопределяет относительно более высокую миграционную подвижность <sup>90</sup>Sr по сравнению с <sup>137</sup>Cs. В болотных почвах наличие торфяных горизонтов обуславливает высокую обменную поглотительную способность и слабую обменную фиксацию радионуклидов, что, напротив, определяет относительно меньшую подвижность <sup>90</sup>Sr по сравнению с <sup>137</sup>Cs. Наибольшей же

способностью к закреплению любых радионуклидов на загрязненной территории обладают серые лесные почвы и черноземы.

## Первичное распределение радионуклидов

Сразу после аварии на лесные массивы осело на 20–30 % больше аэральных радиоактивных выпадений, чем на прилегающие безлесные участки. Самые высокие концентрации отмечены на наветренных (со стороны источника выброса) лесных опушках шириной 20–50 м, в отдельных случаях 200–300 м [1]. Повышенное отложение радионуклидов наблюдалось и в зоне одиночно стоящих деревьев [2].

Естественно, первоначально основное количество радиоактивных веществ было задержано в кронах деревьев (от 40 до 90%). Аккумулирующая роль древесного яруса в этот период определялась коэффициентом задерживания  $K_3$  (отношением количества радио-



Первичное распределение радиоактивных веществ и радионуклидный состав выпадений в лесных экосистемах.



нуклидов, накопленных в растениях, к суммарному количеству выпавшей на территорию радиоактивности). Величина коэффициента зависит от вида растения и периода его вегетации, сомкнутости крон, а также ряда климатических факторов (скорости и направления ветра, количества атмосферных осадков и др.) и физико-химической формы и дисперсности радиоактивных выпадений. Однако условно  $K_3$  приравнивается к доле горизонтальной проекции крон в общей площади произрастания деревьев. Подтвердились закономерности, отмеченные в работах еще дочернобыльского периода [3,4,5]: хвойные ценозы характеризуются большей задерживающей способностью по сравнению с лиственными насаждениями, в особенности дубравами [6]. Максимальные уровни загрязнения отмечались в органах, экспонированных к внешнему загрязнению, — листьях, мелких ветвях, наружных слоях коры. В целом же непосредственно после аварии удельная активность растительного яруса определялась только поверхностным загрязнением, а его радионуклидный состав полностью соответствовал содержанию выпавшей радиоактивной смеси. В ближней зоне выпадений он был представлен всем спектром продуктов деления ядерного топлива, на более удаленной территории — в основном долгоживущими изотопами  $^{137}\text{Cs}$ . При этом уже через два месяца после выброса на всей территории в радионуклидном составе загрязнения внутренних структур древесных пород, первоначально не загрязненных, фиксировался  $^{137}\text{Cs}$ . Это было обусловлено его внекорневым потреблением растениями.

Сразу после аварии связь радиоактивных частиц с поверхностью растений была очень слабая, и под действием ветра, атмосферных осадков

они быстро перемещались под полог леса. Первый период полураспада древесного яруса (без учета радиоактивного распада) составлял от двух недель до месяца [7,8], и в результате к августу 1986 г. активность в кронах деревьев снизилась до 10–20% от первоначальной\*.

Наиболее интенсивно процессы дезактивации радионуклидов в растительном ярусе протекали на территориях, где выпали более крупные радиоактивные частицы (в 5–10-километровой зоне отчуждения), а также в лиственных ценозах. В хвойных экосистемах эти процессы протекали медленнее, так как продолжительность «жизни» хвои составляет три–четыре года.

Несмотря на то, что, по мнению некоторых исследователей, леса могут быть источником вторичного загрязнения прилегающих территорий, в целом на этом этапе лесные массивы сыграли очень существенную роль в сдерживании ветрового переноса радиоактивных веществ. А вот открытые территории из-за сильно выраженного ветрового подъема радиоактивной пыли действительно были причиной вторичного загрязнения окружающих природных сред. Поэтому для стабилизации радиоэкологической обстановки в 30-километровой зоне ЧАЭС в первую очередь проводили пылеподавление.

Другая преграда для радионуклидов на пути вертикальной миграции из атмосферы — произрастающая под пологом леса травянистая растительность, задерживающая способность которой зависит от проективного покрытия, величины биомассы, строения листьев и т.д.

В напочвенном покрове радионуклиды аккумулируются в максимальной степени мха-

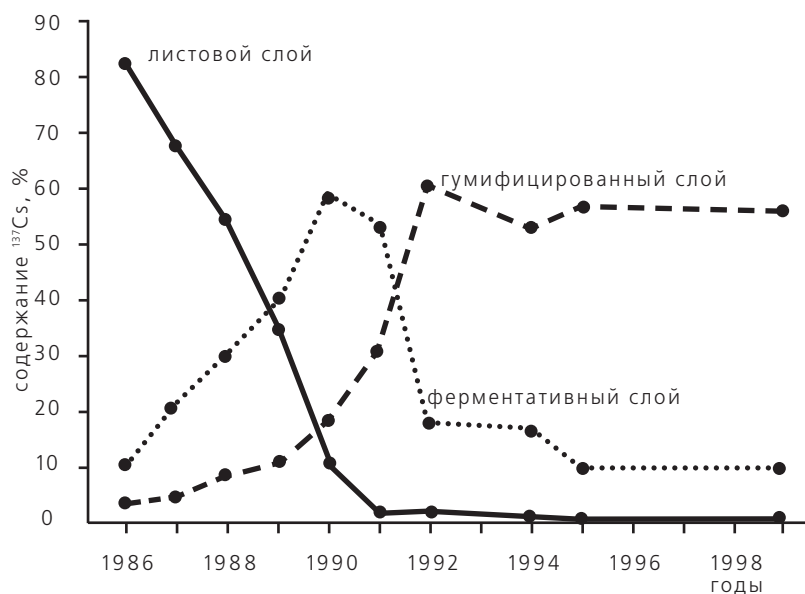
\* Здесь и далее данные представлены с учетом радиоактивного распада.

ми и лишайниками и в наименьшей — высшими цветковыми растениями. В отличие от древесного яруса, где период аэрального поступления радиоактивных веществ достаточно короткий (6–11 дней даже в условиях чернобыльской аварии), травяно-кустарничковый полог находится под влиянием этого процесса в течение двух-трех лет из-за вторичного загрязнения травянистых растений с деревьев. Однако биомасса видов напочвенного покрова и площадь их проективного покрытия невелики, поэтому аккумулирующая роль травяно-кустарничкового яруса не столь значима по сравнению с древесными растениями.

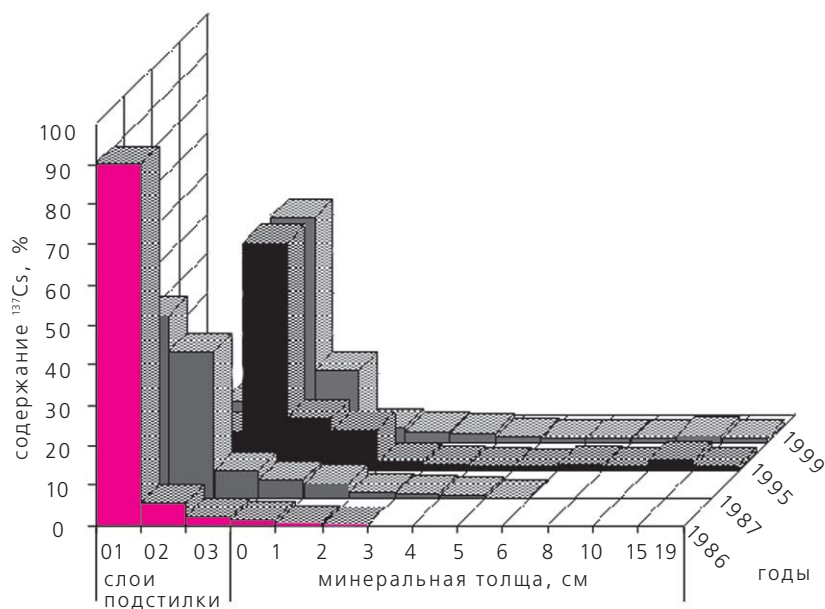
Уже через два-три месяца после выпадений основная часть (до 80%) выпавших радиоактивных веществ в лесных экосистемах перемещается под полог леса, хотя процессы самоочищения древесного и травяно-кустарничкового ярусов в загрязненных лесах доминируют и в последующие два-три года. Основную экологическую роль в регулировании миграционных потоков радионуклидов в лесных экосистемах начинает играть почва.

## Радионуклиды в лесных почвах

*Лесная подстилка* — основной почвенный горизонт лесных экосистем, где первоначально аккумулируются и в дальнейшем длительное время удерживаются радионуклиды. Как известно, она неоднородна и состоит из трех слоев, или подгоризонтов. Верхний, листовый, слой представлен свежим растительным опадом, незатронутым разложением; нижележащий, ферментативный, — состоит из частично трансформированных в процессе разложения растительных остат-



Многолетняя динамика относительного содержания  $^{137}\text{Cs}$  в различных слоях лесной подстилки. Пробы отбирались в широколиственно-сосновом лесу в 28 км к югу от ЧАЭС. За 100% принято содержание  $^{137}\text{Cs}$  в подстилке в целом.



Многолетняя динамика перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  в профиле почв автоморфных ландшафтов. Пробы отбирались в широколиственно-сосновом лесу в 28 км к югу от ЧАЭС. За 100% принято содержание  $^{137}\text{Cs}$  в профиле почв в целом.

ков, но сохранивших свое морфологическое строение; нижний, гумифицированный, — представлен органическим веществом растительных остатков. Такое строение лесной подстилки предопределяет то, что первоначально до 90% радиоактивных веществ, поступивших из растительного яруса, аккумулируется в листовом слое. Затем в результате ежегодного поступления на поверхность почвы свежего, относительно более чистого растительного опада, процессов переноса с почвенной фауной и миграции радионуклидов вместе с нисходящей влагой происходит перемещение загрязняющих веществ внутри ее подгоризонтов. Верхний, листовый, слой активно очищается. Особенно интенсивно этот процесс протекает в первые годы после аварии. В дальнейшем темпы снижения относительного количества радионуклидов существенно замедляются, и через четыре-пять лет их содержание в верхнем слое стабилизируется приблизительно на одном уровне (около 1% от общих запасов в подстилке) независимо от биогеоценоза. В ферментативном и гумифицированном слоях все иначе. Здесь запасы радионуклидов постепенно растут до максимальных отметок, затем также снижаются и стабилизируются на определенном уровне в зависимости от типа биогеоценоза, ландшафто-экологических условий и слоя подстилки. Так, в ферментативном слое максимум в содержании  $^{137}\text{Cs}$  приходится на пятый-шестой год, а стабилизация его запасов происходит примерно еще через три-четыре года. В настоящее время содержание  $^{137}\text{Cs}$  в этом подгоризонте уже стабилизировалось на уровне 10%. В то же время в нижнем подгоризонте достижение относительного максимума сдвинуто во времени на более поздние сроки (на шестой-

седьмой год), а снижения в содержании  $^{137}\text{Cs}$ , характерного для вышележащих слоев подстилки, до настоящего времени не наблюдается. Таким образом, регуляция потока радиоактивных веществ в перспективе будет происходить главным образом в гумифицированном подгоризонте.

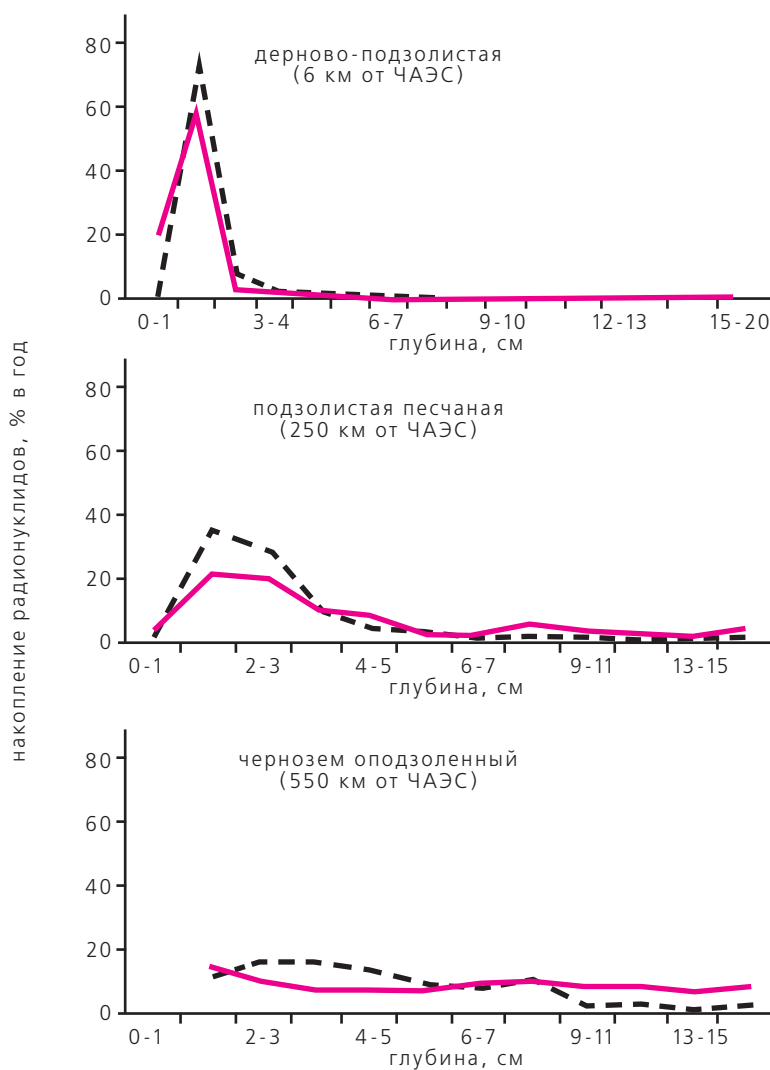
В целом же в подстилке лесных экосистем сейчас удерживается в среднем от 50 до 70% выпавших радионуклидов: максимально — в хвойных ценозах автоморфных ландшафтов и значительно меньше — в смешанных лесах аккумулятивных ландшафтов. Исключение — лиственные ценозы лесостепи, с невыраженной или фрагментарно выраженной подстилкой. Здесь уже через два года после аварии подстилка утратила свое значение в аккумуляции радионуклидов, так как основное их количество перемещается в минеральные слои почвенного профиля.

Кроме того, нельзя забывать, что удерживающая способность подстилки определяется ее мощностью, составом и морфологическим строением. В лиственных лесах с неполнопрофильной и маломощной подстилкой наблюдается наибольшая интенсивность миграции радионуклидов (в частности,  $^{137}\text{Cs}$ ) в минеральную толщу. В хвойных лесах (в особенности в мертвопокровных ельниках) с полнопрофильными мощными подстилками (до 5–7 см) и в настоящее время удерживается до 80% выпавшего  $^{137}\text{Cs}$ . Позитивное влияние на удерживающую способность подстилки оказывает моховой покров: чем он больше развит, тем выше аккумуляция радионуклидов в подстилке. Таким образом, по удерживающей способности подстилки лесные биогеоценозы можно расположить в следующем порядке: лиственный лес < широколиственно-хвойный лес < хвойный лес с невыраженным мо-

ховым покровом < хвойный лес с выраженным моховым покровом.

В минеральной толще лесных почв содержание радионуклидов в значительной степени определяется удерживающей способностью подстилки. Другими словами, динамика поступления радиоактивных веществ в эту часть почвенного профиля зеркально отражает динамику очищения подстилки. Проявляется интересная закономерность: в первые 10 лет после выпадения

происходит относительно равномерное изменение по годам содержания радионуклидов в подстилке и минеральных слоях. Затем эти процессы замедляются и стабилизируются, что говорит о достижении определенного равновесия в перераспределении радионуклидов между органоминеральными и минеральными слоями. Вместе с тем в минеральном профиле почв автоморфных участков основное количество радионуклидов аккумулируется в са-



Распределение  $^{90}\text{Sr}$  (цветные кривые) и  $^{137}\text{Cs}$  в профиле лесных почв разных типов в зависимости от удаления от ЧАЭС (данные 1992 г.).

мом верхнем (1–2 см) слое. В нижележащей толще их содержание (при равномерном распределении) резко падает. Максимальная глубина проникновения радионуклидов в измеримых количествах в почву на автоморфных ландшафтах колеблется от 30 до 70 см. Данная величина в основном определяется плотностью загрязнения территории. Повышенная интенсивность перераспределения радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ) в подподстилочные слои отмечается в лиственных лесах. В хвойных ценозах наибольшая миграция радионуклидов наблюдается в полновозрастных лесах и значительно меньшая — в относительно молодых посадках сосны.

В гидроморфных почвах по сравнению с автоморфными интенсивность вертикальной миграции радионуклидов выше примерно в два-три раза. Здесь не происходит выраженной аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем подподстилочном слое; а распределение радионуклидов по глубине почвенного горизонта более плавное. Среди болотных почв максимальная интенсивность миг-

рации  $^{137}\text{Cs}$  наблюдается в почвах черноольховых лесов гидроморфных ландшафтов и минимальная — в почвах верховых сфагновых болот. В черноземах под лесом отмечается более высокий (в особенности в первые пять лет) уровень поступления радионуклидов в минеральные слои, чем в гидроморфных почвах. Высокая интенсивность перераспределения радионуклидов в черноземных почвах под лесом связана, с одной стороны, с зоогенным фактором (в частности, с деятельностью дождевых червей), а с другой — со слабой удерживающей способностью подстилки. К настоящему времени в минеральные слои почв в зависимости от типа биогеоценоза мигрировало от 30 до 100% радионуклидов, причем наиболее интенсивно эти процессы протекают в почвах лиственных лесов лесостепи.

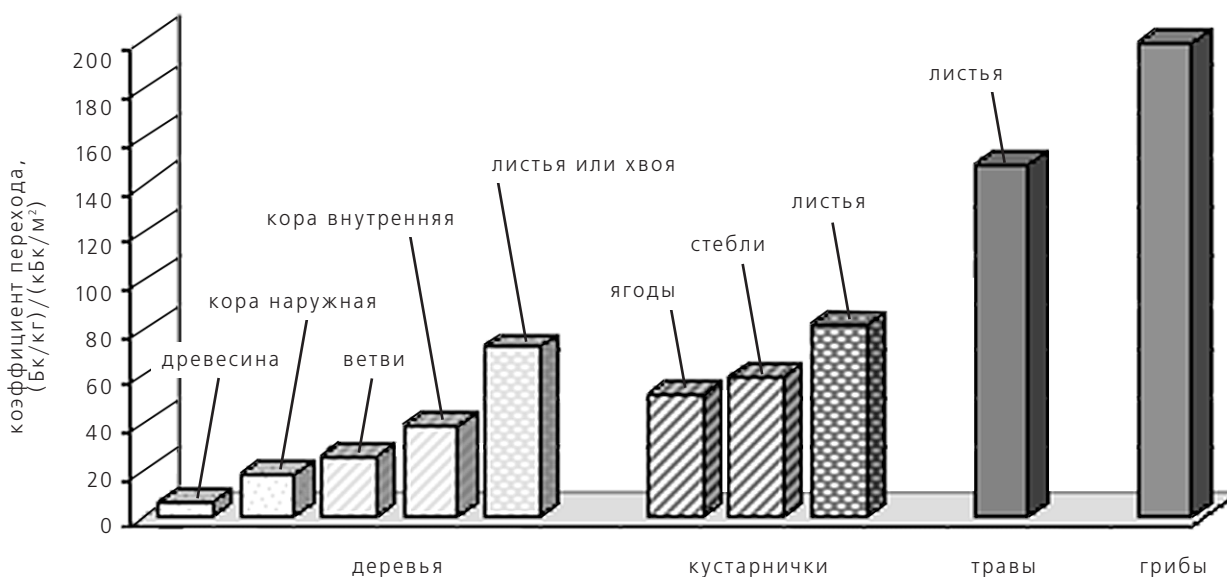
Таким образом, перераспределение радионуклидов в слоях подстилки и минеральной толщи почв в лесных экосистемах характеризуется различной динамикой, протекает с неодинаковой интенсивностью и определяется

различными процессами. В лесной подстилке — в основном за счет ежегодного поступления на ее поверхность относительно более чистого растительного опада; в минеральной толще — в результате протекания миграционных процессов.

По предварительным прогнозам, через 15–20 лет после аварии на ЧАЭС в дальней части зоны загрязнения более 50% радионуклидов (считая по их общей активности) переместится в минеральные слои почвы. В системе растительный ярус—лесная подстилка—минеральная толща почв должно наступить состояние, близкое к равновесному. В то же время в 30-километровой зоне до 60–70% выпавших радионуклидов по-прежнему будет удерживаться в подстилке.

## Корневое загрязнение

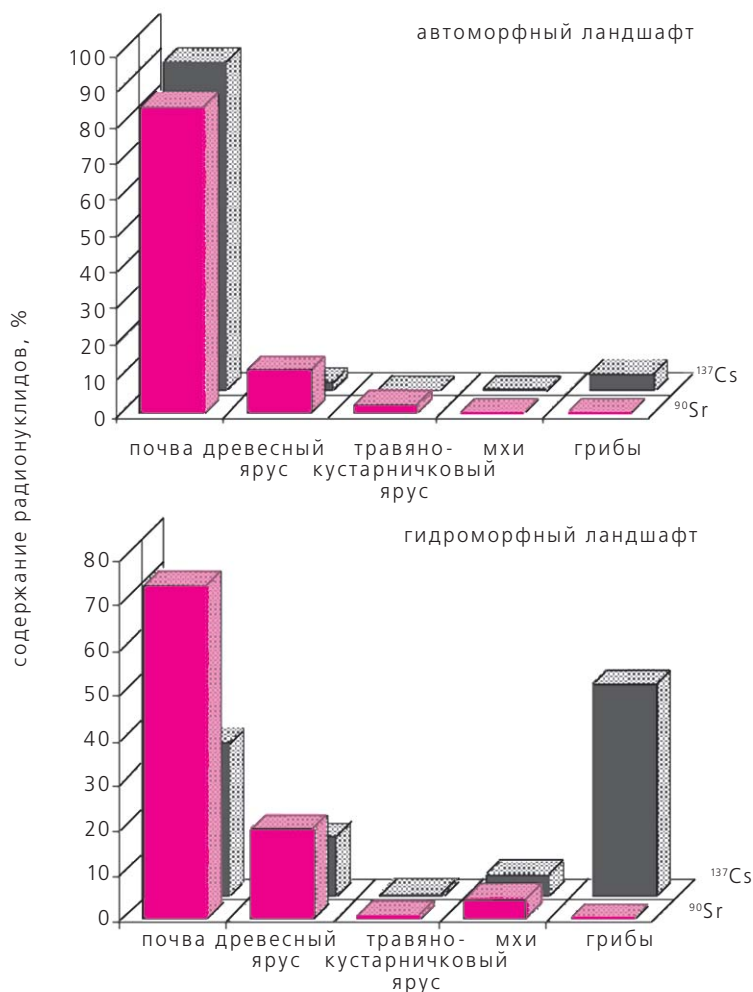
Через 2–3 года после аварии, когда процессы самоочищения в растительном ярусе лесных экосистем замедлились, источником корневого загрязнения для растений и грибов стала почва. Интен-



Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях и грибах.

сивность поступления радионуклидов определяется целым комплексом факторов: особенностями пространственного распределения изотопов в корнеобитаемой толще, физико-химическими формами их нахождения в почве и соответственно биологической доступностью для растений, способностью вида к усвоению тех или иных элементов и форм их соединений. В связи с этим накопление радиоактивных веществ в напочвенном покрове различно и определяется, кроме всего прочего, еще и биомассой его компонентов. Наибольшая концентрация  $^{137}\text{Cs}$  отмечается в грибах, мхах, лишайниках, затем в травянистой и кустарничковой растительности и наименьшая — в древесных породах. Однако из-за больших различий в биомассе этих компонентов их роль в распределении загрязнения в экосистеме различна.

*Древесный ярус.* Напомним, что сразу после аварии на всей территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению, распределение радионуклидов по структурным органам древесных пород было примерно одинаковым. Однако уже через год самый высокий уровень загрязнения отмечен в наружных слоях коры, особенно пород с трещиноватой и шероховатой поверхностью коры — дуба, ольхи, липы. В последующие годы распределение радионуклидов в органах древесных пород менялось. Так, на всей территории содержание  $^{90}\text{Sr}$  в органах, которые первоначально практически не были загрязнены, возросло за счет корневого потребления. Содержание же  $^{137}\text{Cs}$  со временем менялось по-разному в зависимости от почвенно-экологических условий и форм радиоактивных выпадений. На автоморфных почвах, особенно черноземах,



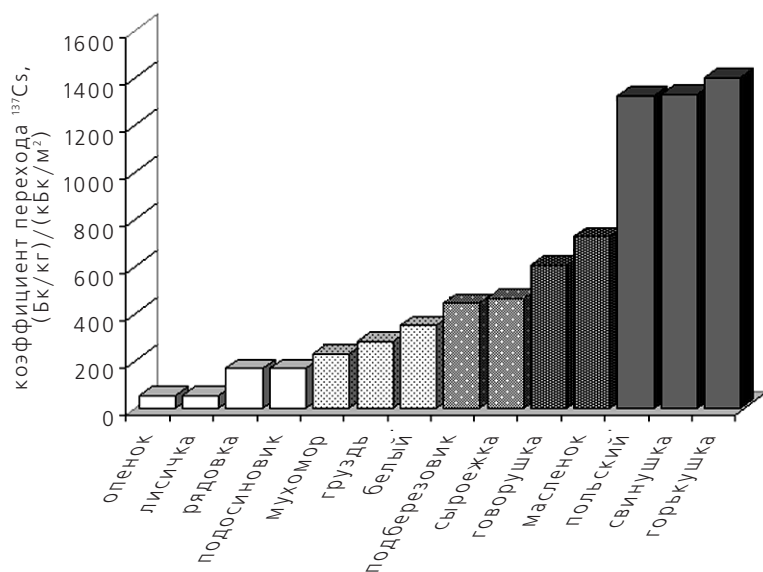
Распределение  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  по компонентам лесных экосистем различных ландшафтов (данные 1998 г.).

определяющая роль в загрязнении древостоев сохраняется за структурными частями, подвергшимися внешнему загрязнению (наружными слоями коры). На гидроморфных и полугидроморфных почвах, а также 50-километровой зоне ЧАЭС, где отмечается растянутое во времени поступление доступных для растений радионуклидов из выпавших труднорастворимых частиц топливной компоненты, в общем загрязнении возрастает долевой вклад структур, загрязнение которых, как правило, определяется корневым

поступлением (внутренних слоев коры, древесины и др.). При этом содержание радионуклидов в тканях, максимально загрязненных в первый послеаварийный период, заметно снижается.

*Травяно-кустарничковый ярус и грибы.* Как уже отмечалось, мхи накапливают радионуклиды почти в 10 раз больше, чем травянистые виды растений, и в два-три раза больше лишайников. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  у плауновых находится на уровне папоротников, а наименьшее накопление радионуклидов в напочвенном рас-





Накопление <sup>137</sup>Cs в плодовых телах высших грибов различных видов (данные 1993 г.).

тительном покрове характерно для высших цветковых растений. Таким образом, мохово-лишайниковый покров — один из основных биогеохимических барьеров на пути вертикальной и горизонтальной миграции радионуклидов в лесных экосистемах.

Среди доминирующих видов травянистых растений условно также можно выделить растения концентраторы и дискриминаторы (не накапливающие радионуклиды). К первым относятся представители семейств папортниковых, в частности орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*), и лилейных: ландыш майский (*Convallaria majalis*), ко вторым — некоторые виды семейств зонтичных и лилейных: горичник горный (*Peucedanum orioselinum*) и купена лекарственная (*Polygonatum officinale*). Особое положение в этом ярусе занимают растения-гигрофиты, которые накапливают в сотни раз больше радионуклидов, чем виды-концентраторы на автоморфных почвах.

Особую радиоэкологическую роль играют грибы. С од-

ной стороны, они — накопители некоторых радионуклидов, с другой — пища для животных и человека. На всех этапах радиоактивного загрязнения лесов при прочих равных условиях в грибах накапливалось <sup>137</sup>Cs в 100–1000 раз больше, чем в других компонентах лесного ценоза. В первые годы «рекордсменами» среди них были гриб польский (*Xerocomus badius*), свинушка тонкая (*Paxillus involutus*) и горькушка (*Lactarius rufus*). Их сразу после аварии стали использовать в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения. Однако спустя 15 лет после выпадений из выделенных ранее видов-накопителей только польский гриб в полной мере сохранил свои биоиндикаторные свойства. В настоящее время в число таких индикаторов может быть включен желчный гриб (*Tylopilus felleus*), однако до сих пор нет достоверных сведений об особенностях аккумуляции радионуклида на начальных этапах после выброса.

В то же время на протяжении всего поставарийного периода в значительно меньшей

степени загрязнены опенок (*Armillariella mellea*), лисичка настоящая (*Cantharellus cibarius*) и рядовка серая (*Tricholoma portentosum*). Это связано с тем, что они развиваются на относительно чистых субстратах — живой или мертвой древесине (опенок) или листовом растительном опаде (лисичка, рядовка).

Интересно, что со временем накопление радионуклидов грибами снижается. Однако это снижение достаточно плавное: за прошедший после аварии период оно уменьшилось в 1.5–6 раз в зависимости от видовой принадлежности и типа биогеоценоза.

## Миграция радионуклидов в системе почва—растение

Почвенные свойства практически полностью определяют миграцию радионуклидов в системе почва—растение в поставарийный период. Важный показатель, характеризующий биологическую доступность радионуклидов для растений, — коэффициент перехода ( $K_{\text{п}}$ ): отношение удельной активности растений (Бк/кг) к плотности загрязнения почв (кБк/м²). При расчете этого показателя концентрация радионуклида в биомассе приводится к единице плотности загрязнения, что нивелирует влияние этого фактора и позволяет выявить зависимость накопления элементов от почвенно-экологических условий, видовых особенностей растений и других показателей.

На почвах разных типов коэффициент перехода радионуклидов в растения и грибы может варьировать от сотых долей (на автоморфных почвах) до сотен единиц (на гидроморфных торфяных). Это свидетельствует о том, что на автоморфных при доста-

точно высокой плотности загрязнения можно получать чистую продукцию, в то время как на гидроморфных, в особенности торфяных почвах, при несравнимо меньшей плотности загрязнения (около 1 Ки/км<sup>2</sup>) накопление радионуклидов в продукции превысит предельно допустимый уровень. С почвенными условиями в значительной степени связана также динамика корневого поступления радионуклидов. В целом в условиях автоморфных ландшафтов интенсивная необменная сорбция радионуклидов приводит к резкому снижению их поступления в растения с течением времени (и наиболее резко в первые годы после выпадений). Напротив, на гидроморфных торфяных почвах отмечается рост поступления радионуклидов в растения.

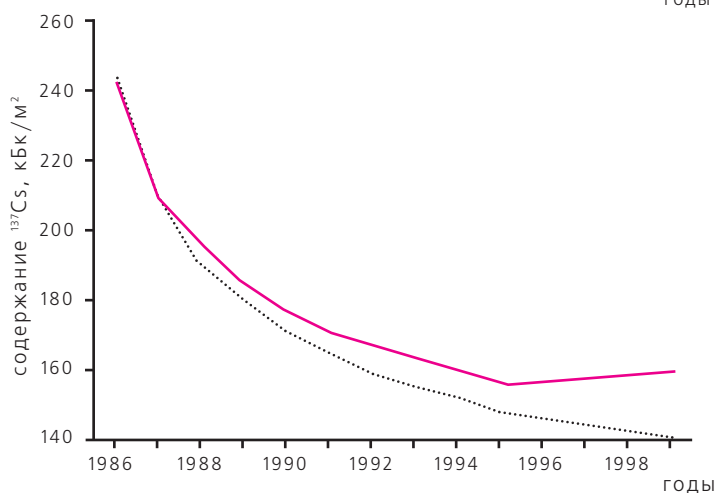
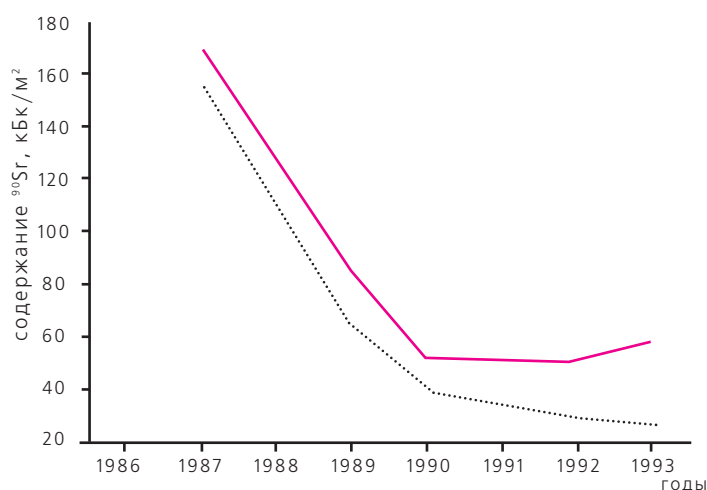
### Геохимическая миграция радионуклидов

С инфильтрационной влагой мигрируют сотые—десятые доли процента радионуклидов в год от суммарного количества в отдельных слоях лесных почв (см. таблицу). При этом за пределы профиля выход радионуклидов с гравитационной влагой составляет не более сотых долей процента в год. Таким образом, очевидно, что почвы регулируют потоки радионуклидов не только в системе почва—растение, но и в системе почва—грунтовые воды.

Вместе с тем барьерные свойства почв по отношению к различным изотопам неодинаковы. Наиболее интенсивно сорбируется <sup>137</sup>Cs, причем в почвах практически всех типов, за исключением торфянистых. <sup>90</sup>Sr и <sup>106</sup>Ru задерживаются в почве в значительно меньшей степени, а в хвойных лесах слабо. Это характерно для плутония, и так как у некото-

**Миграция радионуклидов в почвах с нисходящим потоком влаги (по данным 1991 г.)**

Слой, см	Радионуклиды, отн. ед.				
	<sup>144</sup> Ce	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>106</sup> Ru	<sup>90</sup> Sr
<b>Широколиственно-сосновый лес, 28 км от ЧАЭС</b>					
0–5	-	0.077	0.056	0.364	0.10
0–10	-	0.016	0.024	0.265	0.02
0–20	-	0.054	0.017	-	0.02
<b>Черноольшатник, 28 км от ЧАЭС</b>					
0–5	-	0.067	0.128	-	0.07
0–10	-	0.067	0.088	-	0.02
0–20	-	0.093	0.112	-	0.01
<b>Сосняк, 10 км от ЧАЭС</b>					
0–5	0.15	0.1	0.11	0.52	0.92
0–10	0.06	0.05	0.06	0.67	0.57
0–20	0.01	0.01	0.01	0.14	0.17
<b>Широколиственно-сосновый лес, 6 км от ЧАЭС</b>					
0–5	0.078	0.108	0.115	0.095	0.11
0–10	0.003	0.024	0.025	0.031	0.03
0–20	0.001	0.003	0.003	0.019	0.03
0–30	-	0.002	0.002	0.014	0.02



*Динамика перераспределения <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в геохимически сопряженных лесных ландшафтах: аккумулятивном (цветная кривая) и элювиальном.*

рых его изотопов период полураспада составляет десятки—сотни тысяч лет, вероятность значимого загрязнения данными элементами грунтовых вод может представлять особую экологическую опасность.

В лесных ландшафтах практически не выражена горизонтальная миграция радионуклидов с поверхностным и внутрипочвенным стоком. Межландшафтное перераспределение радионуклидов по истечении почти 15 лет после чернобыльского выброса не превышает 15%, что находится на уровне ошибки определения. Тем не менее о наличии процесса перераспределения радионуклидов между ландшафтами свидетельствует постоянное уменьшение плотности загрязнения элювиальных и соответствующее возрастание плотностей загрязнения аккумулятивных ландшафтов. В экологическом плане отсутствие значимого

межландшафтного перераспределения радионуклидов указывает на локализацию выпадений в пределах территории первичного загрязнения. Это позволяет утверждать, что расширение зоны первичного загрязнения и образование зон вторичного загрязнения в лесных ландшафтах не происходит.

\* \* \*

При возрастающих техногенных нагрузках на биосферу экологическую роль лесных экосистем трудно переоценить. Помимо более высокой аккумуляции радиоактивных выпадений по сравнению с другими экосистемами и сдерживания вертикальных и горизонтальных потоков радионуклидов за пределы зоны первичного загрязнения лесные биогеоценозы регулируют миграционные потоки в системе почва—расте-

ние—человек (продукция лесного хозяйства — одно из звеньев трофической цепи поступления радионуклидов к животным и человеку). Все проведенные в поставарийный период исследования свидетельствуют о первостепенном влиянии на миграционные потоки радионуклидов именно природных факторов (в особенности свойств почв). Все известные мероприятия по предотвращению миграции радионуклидов за пределы зон загрязнения и в системе почва—растение снизили миграционные потоки радионуклидов только в несколько раз — в то время как природные факторы могут снижать эти потоки в 100 и более раз. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 00-04-48024.**

## Литература

1. Пастернак П.С., Молодков П.И., Кучма Н.Д. и др. Радиационно-экологические аспекты ведения сельского хозяйства на территории, загрязненной в результате аварии на ЧАЭС // Радиационные аспекты Чернобыльской аварии. СПб., 1993. Т.2. С.282—286.
2. Стыро С.Д., Филистович В.И. // Физика атмосфер (Вильнюс). 1990. №5.
3. Алексахин Р.М., Нарышкин М.А. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах. М., 1977.
4. Тихомиров Ф.А. Действие ионизирующих излучений на экологические системы. М., 1972.
5. Хэнсон У.С. Трансурановые элементы в окружающей среде. М., 1985.
6. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. М., 1999.
7. Егоров Ю.А., Казаков С.В., Панкратьев Ю.В. и др. Радиоактивное загрязнение экосистем в зоне аварии на Чернобыльской АЭС в 1986—1987 гг. // Экология регионов атомных станций. М., 1994. Вып.2. С.205—231.
8. Тихомиров Ф.А., Щеглов А.И., Мамихин С.В., Сидоров В.П. Последствия радиоактивного загрязнения лесов в зоне ЧАЭС // Итоги двухлетней работы по ЛПА на Чернобыльской АЭС. Чернобыль, 1989. Т.4. С.99—103.

**Цитогенетический мониторинг последствий Чернобыльской аварии**

В рамках Государственной программы по ликвидации последствий Чернобыльской аварии проводилось ежегодное (1986—1998) цитогенетическое обследование ликвидаторов и населения, проживающего на загрязненной территории. Главная цель исследований — определение индивидуальных и коллективных доз облучения по количеству хромосомных повреждений в лимфоцитах крови. Такой биологический метод оценки доз, полученных человеком при различных аварийных ситуациях, уже имеет многолетний опыт и незаменим, когда прямая дозиметрия не проводилась.

В группе ликвидаторов из 875 человек, работавших в 30-километровой зоне аварии в 1986—1989 гг., больше всего хромосомных аберраций отмечено у людей, которые находились там в 1986 г. Как и следовало ожидать, оцененные дозы облучения у них оказались самыми высокими, причем численно значения хорошо согласуются с данными Российского государственного медико-дозиметрического реестра.

Выборочное обследование населения загрязненных территорий, проведенное в отдаленные после аварии сроки (1989—1998), показало, что средняя частота хромосомных аберраций в той или иной степени превышала контрольный уровень (см. табл.). Повторное цитогенетическое обследование части населения позволило проследить динамику хромосомных аберраций не только по всей когорте, но и у одних и тех же людей. С увеличением времени проживания на загрязненной территории частота аберраций не возросла, а, напротив, снизилась. Это говорит о том, что основную дозу радиации люди получили в начале аварии. Согласно расчетам, средняя доза в период 1986—1995 гг. для проживающих на территории с плотностью загрязне-

ния по <sup>137</sup>Cs более 555 кБк/м<sup>2</sup> составила 50—60 мЗв/чел., а для населения менее загрязненных районов — не более 6—20 мЗв/чел.

Уже в ходе первых цитогенетических анализов крови в различных группах пострадавших (ликвидаторов, эвакуированных, проживающих на опасной территории) были выявлены единичные мультиабберрантные клетки (МАК) — клетки с множественными хромосомными нарушениями. Напомним, что впервые такие клетки обнаружили у практически здоровых аборигенов Южной Америки. Тогда предположили, что этот феномен свойствен данной популяции в силу природных условий и не имеет широкого распространения. Однако в последние годы стали появляться сообщения о нахождении МАК и в других регионах, в том числе в европейской части России. Большая работа по выявлению мультиабберрантных клеток проведена в Японии. На протяжении 18 лет там было обследовано почти 10 тыс. потомков (в возрасте от 9 до 37 лет) тех, кто пострадал при бомбардировке Хиросимы, и только у 24 человек были найдены единичные клетки с множественными аберрациями. Но причину этого явления установить не удалось.

После обнаружения таких клеток у людей чернобыльской группы, включая детей, возникло подозрение, что феномен МАК вызван радиоактивной пылью, попавшей

в организм при дыхании. Однако результаты собственных исследований (более 3.5 тыс. человек) и анализ литературных данных заставили усомниться в радиационной природе этого явления. Впервые, обычно на 200—300 метафаз встречалась одна МАК, одна-три клетки — с одной аберрацией, и совершенно отсутствовали промежуточные формы. К тому же, согласно расчетам, при такой частоте МАК в организме обследованных должны были присутствовать 20—25 тыс. частиц радиоактивной пыли, что маловероятно. Во-вторых, против радиационной природы свидетельствуют и результаты повторного, через год, обследования выявленных носителей МАК: из 30 ликвидаторов и 30 жителей загрязненных районов соответственно у 13 и 4 снова анализировали кровь на присутствие МАК. И ничего не обнаружили.

В целом можно сказать, что хромосомные аберрации позволили довольно точно определить дозы, полученные населением в начальный послеаварийный период. В отдаленные сроки такая оценка оказалась затруднительной. Причин тому много, в том числе отсутствие калибровочных кривых, по которым поглощенные дозы можно было бы достаточно точно оценивать при больших лагах.

Радиационная биология. Радиоэкология. 2000. Т.40. №5. С.589—595 (Россия).

**Частота аберраций хромосом (на 1000 клеток) у жителей загрязненных районов**

Район обследования	Средний уровень загрязнения <sup>137</sup> Cs, кБк/м <sup>2</sup>	Число людей	Число метафаз	Тип аберраций		
				Ацентрики	Дисцентрики	Центрические кольца
<b>Калужская обл.:</b>						
Жиздра	100	548	165 334	3.6	0.9	0.5
Ульяново	140	666	175 662	4.0	1.2	0.5
<b>Брянская обл.:</b>						
Клинцы	230	170	45 570	2.9	0.5	0.3
Гордеевка	444	432	98 180	2.3	0.5	0.1
Злынка	633	61	12 200	2.7	1.4	0.4
Контрольные, незагрязненные территории	0	67	16 400	2.4	0.3	0.1

# Заповедная лаборатория

М.А.Колотова

**В** 300 км от Москвы, на юго-востоке Мещерской низменности, находится одно из уникальнейших мест России. Кто побывал здесь хоть раз, навсегда оставит в этих живописных краях частичку своего сердца. От Рязани до небольшого (с населением менее 200 человек) пос. Брыкин бор, где находится центральная усадьба Окского биосферного государственного природного заповедника, дорога довольно однообразна: вереница выстроившихся вдоль дороги деревень время от времени прерывается полями и лугами. Помнится, я очень удивлялась, когда ехала сюда в первый раз: «Где же тут может оказаться заповедник, славящийся своей первозданной природой?» Но за километр до въезда в поселок все преобразается: вплотную к дороге подступает смешанный лес, в глубине которого прячутся дома. Редко где-нибудь такое увидишь — сосны и березы, ландыши и купена растут у стен домов, а птицы, которых тут множество, частенько выводят и выкармливают птенцов прямо под окнами жителей поселка.

Люди облюбовали здешние края с давних времен — на



**Марина Александровна Колотова**, лаборант-исследователь в Окском биосферном государственном заповеднике. Область научных интересов — экологическое просвещение, охрана природы, поведение и экология животных.

территории Брыкина бора сохранилось древнее (I—II вв.) славянское городище. Название поселка — напоминание о тех временах, когда в мещерских лесах скрывался от преследователей разбойничий атаман Брыкин, грабивший проходившие по Оке суда. Вообще в округе немало мест с исторически значимыми названиями\*, многие из которых связаны с именем помещицы Беклемишевой.

\* Подробнее см.: Киселев Ю.Н., Колотова М.А. Брыкин бор//Природа. 2001. № 3. С. 56—60.

## «Птица феникс»

Надо ли русскоязычному человеку объяснять смысл слова «заповедник»? Согласно словарям, первое значение слова «заповедать» — «завещать», а уж потом — «наложить запрет». «Заповедный» — это не только «находящийся под запретом», но и «хранимый в тайне, сокровенный» и даже «особенно дорогой, заветный». Кто способен не только понять, но и сердцем прочувствовать смысл этих слов, тому и нет нужды разъяснять, что такое заповедник и для че-





*Затерявшийся среди леса пос.Брыкин бор. Здесь расположена центральная усадьба Окского биосферного государственного заповедника.*

*Здесь и далее фото автора*

го он создан. У нас в стране уже 99 заповедников, что, безусловно, радует. Однако, к сожалению случается так, что под заповедник отводятся территории, уже пострадавшие от неразумной деятельности человека. Окский заповедник — один из них. Образован он был в феврале 1935 г. по постановлению ВЦИК и СНК РСФСР на месте гигантской вырубki. В течение предшествующих 15 лет в этих краях велись усиленные лесоразработки, что привело к полному истощению сырьевой базы. Можно сказать, заповедник возник как птица феникс — из пепла (точнее, на пепелище костров, в которых сжигали отходы лесоразработки). Создан он был для охраны природного комплекса восточной части Мещеры и сохранения выхухоли (*Desmana moschata*) — реликта фауны третичного периода

и одного из немногих видов млекопитающих, проживающих только на территории нашей страны.

Изначально под заповедник была отведена лишь узкая (шириной 1—2 км и площадью 11 тыс. га) полоса леса на левом берегу р.Пры — основной водной магистрали южной Мещеры. Правда, помимо этого, существовала охранная зона, превышавшая в те времена размеры заповедника в три раза, куда вошли наиболее благоприятные для обитания выхухоли уголья поймы Оки. Впоследствии площадь заповедника неоднократно увеличивалась и теперь достигла 55.7 тыс. га.

В 1990 г. Окский заповедник вошел в список биосферных с характерным делением на зоны, которые различаются режимом охраны и природопользования.

Ядро заповедника (Центральное лесничество) — строго охраняемая территория площадью 22.6 тыс. га, которая включает природные комплексы эталонного значения, находящиеся на различных стадиях естественного возобновления. Здесь запрещена всякая деятельность, не связанная с возложенными на заповедник задачами.

В состав биосферного полигона входят четыре лесничества (Лакшинское, Чаруское, Комсомольское и Куршинское) общей площадью 33.1 тыс. га. Здесь ведется контроль над фоновым состоянием среды, изучаются продуктивность естественных биоценозов и антропогенное влияние на них, а также темпы восстановления этих биоценозов при различной степени и способах хозяйственной деятельности. На основе этих иссле-





*Река Пра — своеобразная граница между поселком и особо охраняемой заповедной территорией. Эта основная водная магистраль южной Мещеры популярна среди любителей водного туризма.*



*Птенцы обыкновенного козодоя — одной из немногих птиц нашей фауны, вообще не строящих гнезд. Яйца они откладывают прямо на землю, поэтому единственное спасение от врагов — защитная окраска яиц и оперения.*



*Гнездо певчего дрозда.*



дований разрабатываются методические рекомендации по оптимальным формам и методам использования ресурсов живой природы в регионе.

Ядро заповедника и биосферный полигон почти со всех сторон окружены охранной зоной. На этой довольно обширной (21,5 тыс. га) территории находятся крупные озера Ковежное, Дубское, Лакашинское, старица Лопата, а также заказник «Краснохолмский», предназначенный для воспроизводства выхухоли. Хотя режим охраны здесь не такой строгий, как на основном участке заповедника, тем не менее любая деятельность контролируется государственными инспекторами, следящими за соблюдением всех правил, изложенных в «Положении об охранный зоне заповедника», которое согласовано с администрацией Рязанской обл. и утверждено департаментом ныне упраздненного Министерства природы РФ. Землепользователям (в пределах охранный зоны расположено семь деревень, лесокомбинаты, лесхоз и др.) разрешены традиционные виды деятельности: заготовка древесины, сенокошение, выпас скота, сбор ягод, грибов и т. д. Более того, любой турист может проплыть на байдарке по плавно несущей свои воды в Оку р.Пре, отдохнуть на стоянках, а получив в заповеднике пропуск, поохотиться или поудить рыбу, с недавних пор даже стать участником одной из экскурсий, которые организуют сотрудники заповедника.

### Леса, озера, болота, а также их обитатели

Развитые поймы рек и дюнные формы рельефа междуречий — характерная черта Мещерской низменности. Почвы здесь довольно бедны, так как развиваются на древнеаллю-



*Серая жаба — чем не «царевна-лягушка»?*



*Серая мухоловка кормит свое ненасытное чадо.*



*Прострел раскрытый, или сон-трава.*

виальных и приледниковых песчаных отложениях. В связи с тем, что заповедник находится в долине Оки, здесь четко выражен пойменный режим. Во время весеннего разлива Пра поднимается на 2.5—5 м над межленным уровнем, а Ока — на 5—8 м и выше, в результате чего оказываются затопленными не только необозримые луговые участки пойм и болота, но и значительные площади леса. Порой над поверхностью воды остаются лишь вершины песчаных холмов, на которых спасаются от половодья животные. Реки вновь входят в берега обычно через 25—65 дней, но низины еще долго остаются заполненными водой.

Леса занимают более 50 тыс. га (90.5%), болота — 2.5 тыс. га (4.6%), открытые и сухие угодья около 2 тыс. га (3.8%), а озера и реки — чуть более 600 га (1.1%). Сосновый лес, сильно нарушенный рубками в «дозаповедный» период, в настоящее время постепенно восстанавливается и покрывает наиболее возвышенные места. В заболоченных низинах он уступает место черноольшанникам и березнякам, а вдоль рек и вокруг озер — дубравам. Болота тянутся от западной границы заповедника на восток полосой двухкилометровой ширины. Встречаются открытые моховые болота с клюквой, но в основном они заняты тростником и осоковыми кочкарниками с ивой, а иногда — низкорослой березой и ольхой. В центре заповедника расположено обширное Бабье болото, которое труднопроходимо даже зимой, так как замерзает лишь при сильных и продолжительных морозах. С ним связаны почти все внепойменные озера заповедника, вода в которых своеобразного коричневого цвета. Этот оттенок воде придают гумусовые кислоты, попадающие в озеро вместе с текущими сквозь тор-

фяники ручьями. Один из самых красивых водоемов заповедника — единственное карстовое оз. Святое-Лубяницкое с совершенно прозрачной водой.

Флора заповедника представлена 861 видом сосудистых растений: 834 — цветковых, 4 — голосеменных, 14 — папоротников, 6 — хвощей и 3 — плаунов [1]. Хорошо развита прибрежная и водная растительность, среди которых немало редких видов. На территории заповедника и его охранной зоны находится реликтовый очаг водяного ореха, или чилима (*Trapa natans*), внесенного в Красную книгу России. Выделено 18 местных форм этого вида, таксономический ранг которых пока неизвестен. Впервые для Средней России здесь обнаружены болотница австрийская, частуха Бьерквиста и др. Кроме того, зарегистрирован 181 вид мхов и 258 — шляпочных грибов [2,3].

Животный мир заповедника характерен для центральной части России. Обычны здесь лось и кабан, из хищных зверей обитают лисица, волк, енотовидная собака, барсук, лесная куница, горностай, ласка, черный хорек и др. С момента образования заповедника большое внимание уделялось изучению выхухоли, которой не удалось бы выжить без специальных мер охраны. Численность этого типичного обитателя пойменных угодий, изобилующих непроточными или медленнотекущими водоемами, напрямую зависит от сохранности этих мест. Осушение пойменных земель или продолжительные засухи сказываются на нем губительно, так как питается выхухоль водными беспозвоночными. Сейчас в заповеднике и на прилегающей территории обитает самая крупная популяция (около 1.5 тыс. особей) русской выхухоли, которая уже не раз использовалась для

расселения этого вида в другие регионы России.

С 1937 г. начались первые работы по восстановлению в Мещере популяции бобра, который к тому времени был полностью истреблен в Рязанской обл. За три последующих года выпустили 23 бобра, привезенных из Воронежской области, а спустя еще 10 лет они освоили все водоемы заповедника и его окрестностей. Теперь нередко на многочисленных старицах Пры можно увидеть плотины и хатки этих интересных зверей. Более того, 500 окских бобров справили новоселье в других областях России.

Благодаря заповедному режиму восстановлена численность лося — исконного обитателя мещерских лесов. В первые годы образования заповедника насчитывалось не более 10 особей, сейчас же плотность достигает 10—17 животных на 1 000 га.

За время существования заповедника список позвоночных животных пополнился [4]. Из млекопитающих зарегистрировано уже 57 видов, относящихся к шести отрядам. Фауна рыб (30 постоянно обитающих в водоемах заповедника видов и шесть — иногда заходящих с Волги), земноводных (10 видов) и пресмыкающихся (6 видов) за это время особенно не изменилась, чего нельзя сказать о птицах. Даже список, составленный в 1992 г. и включивший 243 вида птиц, за последние годы пополнился еще 17 новыми. Среди них много хищников: кроме обычных — тетеревятника, перепелятника, канюка, коршуна, осоеда и большого подорлика, у нас гнездятся редкие — скопа, змеяяд, балобан и орлан-белохвост. Особенно многочисленны пернатые обитатели болот и водоемов — различные кулики, чайки, крачки, цапли, журавли, утки и гуси. На окских разливах останавливаются тысячи пролетных



водоплавающих птиц. Через заповедник проходит южная граница ареала глухаря.

Что касается беспозвоночных животных, то, по данным последней инвентаризации, в заповеднике обнаружено 19 видов моллюсков-гидробионтов, 3 — жаброногих, 118 — наземных пауков, 1246 — насекомых. Собрана и обработана коллекция паразитирующих на птицах клещей (136 видов). Из гельминтов изучены паразиты выхухоли, а также интродуцированного (впоследствии исчезнувшего) пятнистого оленя.

## Лаборатория в природе

Основная научная задача Окского заповедника — изучение естественных процессов, проходящих в неповторимом природном комплексе Мещеры со всеми его обитателями, многие из которых находятся под угрозой исчезновения. Наш заповедник — это своего рода полевой научно-исследовательский институт или лаборатория в природе.

В 40-х годах, когда в стране еще только закладывалась сеть заповедников, была введена обязательная форма наблюдений (прообраз современного экологического мониторинга), названная «Летописью природы». Из года в год сотрудники заповедника собирают информацию обо всех основных компонентах природных экосистем и об экологическом фоне, обуславливающем состояние этих компонентов. Постоянно ведутся наблюдения за гидрометеорологическими явлениями (на метеостанции и двух гидропосах — на Оке и Пре), за фенологическими изменениями и динамикой численности растений и животных, за состоянием редких и исчезающих видов. Все сведения ежегодно оформляются в виде со-

лидного фолианта «Летопись природы». Это — не только научный отчет, но и ценный исторический документ, свидетельствующий как о радостных, так и грустных событиях в жизни заповедника.

Заповедник активно сотрудничает с множеством исследовательских, учебных и других учреждений. Например, работы по созданию почвенных ландшафтных и других карт, требующих особой квалификации и технического оснащения, проводились с помощью специализированных организаций. Изучение флоры особенно интенсивно началось в 1966 г., когда к этой работе подключились сотрудники кафедры высших растений и Ботанического сада Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (под руководством профессора В.Н. Тихомирова). Изучение природно-очаговых заболеваний проводилось также совместно с учеными МГУ. Исследовались кровососущие насекомые, выяснялись стойкие очаги лугового клеща, который переносит возбудителей болезней домашних животных, оценивалась роль мышевидных грызунов в образовании этих очагов. Кроме того, множество студентов из разных городов страны из года в год проходят здесь производственную практику, да и научный коллектив самого заповедника состоит в основном из сотрудников, побывавших здесь на практике в студенческие годы.

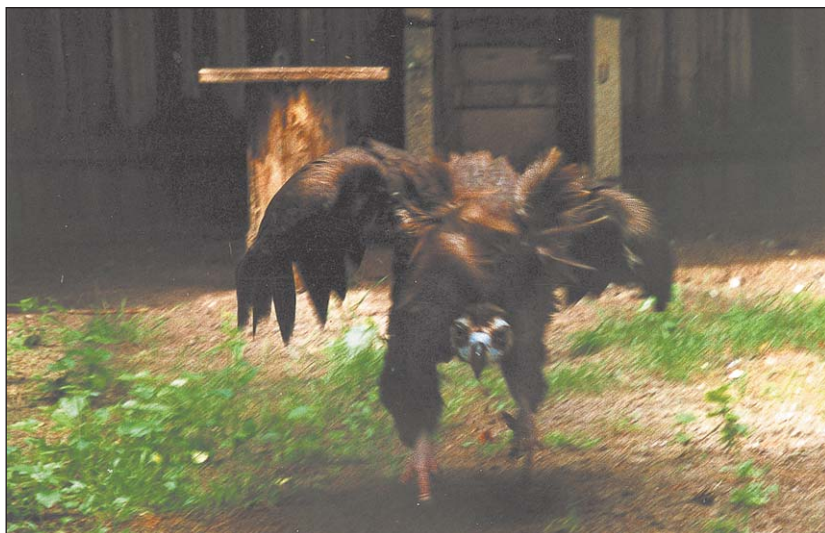
Интенсивные исследования экологии птиц ведутся с 1953 г., а в 1956 г. по инициативе В.П. Теплова была организована Центральная орнитологическая станция, между прочим первая в нашей стране. Изначально она была создана для изучения птиц центральных регионов России, но вскоре работы стали проводиться и за ее пределами.

Наиболее полные сведения

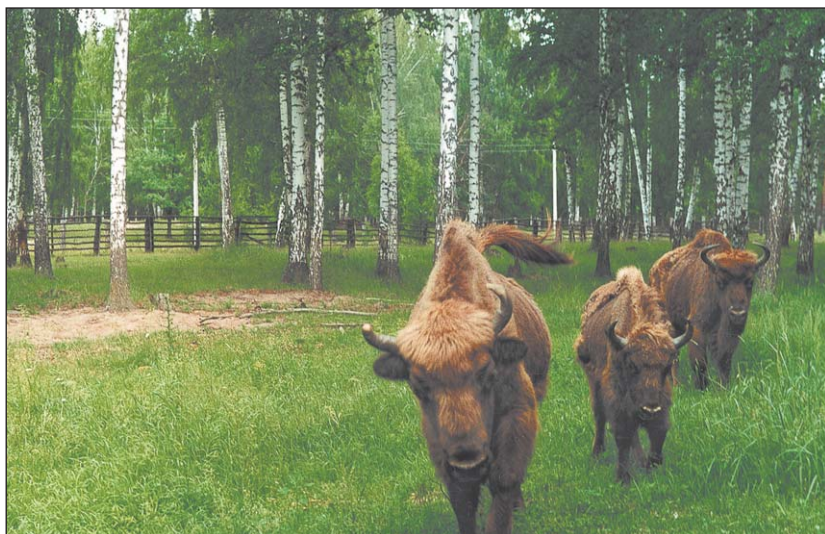
для района Окского заповедника собраны по биологии дневных хищных и водоплавающих птиц, зимородка, золотистой шурки, черного аиста, серого журавля, черной и белой крачки, глухаря, серого сорокопута и других птиц. Орнитологи заповедника регулярно проводят визуальные наблюдения за пролетом птиц, окольцованы сотни тысяч птиц и апробированы старые и разработаны новые методы их отлова и мечения, которыми теперь пользуются почти по всей территории бывшего СССР. Для мечения птиц кроме обычных колец были испробованы крылометки, в том числе цветные для идентификации отдельных экземпляров в природе. В последние годы получены положительные результаты мечения журавлей радиопередатчиками и слежения за ними с помощью спутников. Массовое кольцевание птиц проводилось не только в самом заповеднике и его окрестностях. С этой целью наши сотрудники выезжали в Индигирскую тундру, на оз. Чаны, в Восточное Приазовье, Северо-Западный Каспий, в Байровский заказник и Кызыл-Агачский заповедник. Примечательно, что до 70 % всех колец, возвращенных в Центр кольцевания с голенастых птиц, надето сотрудниками нашего заповедника. Материалы по кольцеванию обработаны более чем по 20 видам птиц и представлены в виде статей для многотомной монографии «Миграции птиц Восточной Европы и Северной Азии».

Для учета запасов охотничьих животных и улучшения фенологических наблюдений в 1960 г. была создана Группа биологической съемки, к работе которой были привлечены егерские службы из 12 областей России. Ежегодно сотрудники заповедника инструктировали егеров, которые проводили фенологические





Черный грифф — старожил уже несуществующего питомника хищных птиц.



Кавказско-беловежские зубры — древние обитатели европейских лесов.

наблюдения, зимний маршрутный учет, ежедекадный учет водоплавающих птиц, куриных — на токах, вальдшнепа — на тяге, а также следили за численностью бобра, выхухоли и других животных. На основе первичных материалов, поступавших в заповедник, ежегодно готовились информации по численности лося, белки, зайца-беляка, лисицы, волка, куницы, глухаря, рябчика, тетерева в отдельных

областях.

Особенным для заповедника оказался 1999 г., так как был богат на юбилеи: вышел 50-й том «Летописи природы», исполнилось 20 лет питомнику редких видов журавлей и 40 лет питомнику чистокровных кавказско-беловежских зубров.

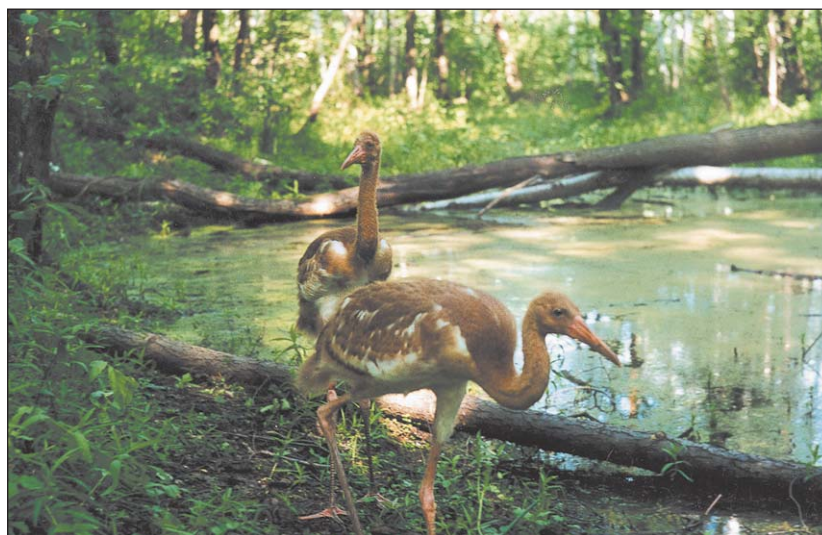
Зубр (*Bison bonasus*), наиболее древний и могучий обитатель европейских лесов, в первой половине XIX в. был

полностью истреблен на воле и одним из первых попал на страницы Красной книги Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП). С невероятным трудом его удалось восстановить благодаря тому, что уцелели 12 представителей этого вида, содержащиеся в зоопарках и частных питомниках. В нашем питомнике, образованном в 1959 г., содержат и разводят гибридные формы кавказско-беловежских зубров (кавказский подвид сохранить не удалось). В огромных загонах общей площадью 202 га чувствуют они себя, как на свободе, но при этом ощущают поддержку и заботу людей, которые их кормят и, конечно же, изучают. За 40 лет существования заповедника у нас родилось более 300 зубрят. Когда создавался питомник, в мире насчитывалось только 360 зубров, в том числе в СССР — 123 особи, теперь же их более 3 тыс., из них около половины — в России и странах СНГ. К настоящему времени создано 19 пунктов вольного разведения зубров, причем более трети исходного поголовья во вновь созданных вольных популяциях составили зубры, вывезенные из Окского заповедника. С 1996 г. в соответствии с Федеральной программой России по охране зубра ведется работа по созданию вольноживущего стада в европейской части России (на территории Брянской, Калужской и Орловской областей). Поэтому в последние годы мещерские зубры справили новоселье в заповеднике «Брянский лес» и в национальном парке «Орловское полесье». Зубры из нашего питомника содержатся также в девяти зоопарках нашей страны и зарубежья, но на какое бы постоянное место жительства их не отправили, узнать их можно по кличкам, так как согласно Племенной международ-





*Питомцы заповедника (сверху вниз): стая серых журавлей на воле, стерх с детенышем и семейство японского журавля в вольере, подросшие журавлята на прогулке в лесу.*





ной книге, они обязательно начинаются на слог «Ме» — на память о Мещере.

Питомник редких видов журавлей вдвое моложе зубрового, возник он в 1979 г. Здесь можно увидеть все семь обитающих в России видов журавлей. Численность большинства из этих грациозных птиц столь мала, что некоторые виды мы можем потерять в ближайшие годы [5]. Прежде всего это относится к журавлям, занесенным в Красные книги СССР и МСОП: численность мировой популяции японского журавля (*Grus japonensis*) — около 1 тыс. птиц, стерха (*G. leucogeranus*) — 2,5 тыс.\* (однако западносибирская популяция, восстановлением которой занимаются в нашем заповеднике, состоит всего лишь из 20 особей), даурского журавля (*G. vipio*) — 2,5–3 тыс. и черного (*G. monacha*) — 4 тыс. птиц. Численность журавля-красавки (*Anthropoides virgo*), включенного в Красную книгу СССР, на территории бывшего СССР составляет 45–50 тыс. особей. В питомнике содержатся и менее редкие виды: серый (*G. grus*) и канадский (*G. canadensis*) журавли пока еще не столь малочисленны, чтобы попасть в Красную книгу, но тем не менее их численность тоже сокращается. Обитатели окского питомника — генофонд журавлей России, созданный для того, чтобы печальная история исчезновения зубров в природе не повторилась. У нас разработаны уникальные методики вольерного содержания и разведения редких видов журавлей, изучается их биология, а кроме того, проводятся опыты по интродукции журавлей в природу. Все семь видов журавлей благополучно выводят потомство, за время существования питомника на свет появилось более 200 птенцов.

\* По данным учетов, проводимых уже после 1987 г.

Десять лет в сотрудничестве с питомником Международного фонда охраны журавлей в Барабу (штат Висконсин, США) осуществляется программа «Стерх», цель которой — восстановление очень малочисленной (20 особей) в настоящее время вольноживущей западносибирской популяции стерха — эндемика России. Ежегодно журавлята, выращенные в Окском заповеднике, пополняют угасающую природную стаю, за эти годы более полусотни птиц уже выпущено на волю.

В последнее время все большее внимание заповедник уделяет экологическому образованию. И это правильно — где, как не здесь, учить людей любить природу. Для этого в заповеднике и его охранной зоне есть специально отведенные места: созданный в 1938 г. Музей природы, в котором представлена местная фауна, питомники редких видов журавлей и чистокровных кавказско-беловежских зубров и др. Кроме того, это единственный заповедник, объединяющий в себе такое большое количество разнообразных природных объектов, интересных для посетителей любого возраста.

Организация экскурсий в Окском заповеднике — это не только экологическое просвещение населения, но и небольшая финансовая поддержка заповедника, который оказался в тяжелых условиях нашего времени. Возник он на территории, из которой все, что можно, уже было выжато, и немалого труда стоило возродить здесь некогда богатые леса помещицы Беклемишевой (которая, заметим, очень умело хозяйствовала на своей земле).

Конечно, за 65 лет своего существования заповедник достиг немалых успехов, но проблем хватает и по сей день. А основная причина, разумеется, как и везде, — финансо-

вая. Хорошо, что есть журавлиный и зубровый питомники, но нет уже питомника редких видов хищных птиц, существовавшего в Окском заповеднике с 1982 по 1995 г., где содержались бородачи, черные грифы, беркуты, кречеты, сапсаны, балобаны. Некоторые из них уже успешно размножались, а балобанов даже начали расселять на воле. Строился он с большим размахом, и вложено в него было немало средств, теперь же территория этого питомника представляет собой не менее печальное зрелище, чем развалины процветавшего некогда стекольного завода. Да и на зубровом питомнике кроме зубров раньше разводили кабанов и пятнистых оленей. Из-за недостатка средств и от этой «роскоши» пришлось отказаться. Зубры же выжили, как, впрочем, и весь заповедник, благодаря поддержке спонсоров и добровольным пожертвованиям не очерстевших душой людей.

Из-за недостаточного финансирования заметно сократилось количество долгосрочных выездов и экспедиций, приходится отказываться от некоторых интересных научных изысканий, да и выполнение основных ведущих тем требует невероятного энтузиазма от сотрудников, средняя зарплата которых не превышает 400 руб. Для того чтобы заниматься любимым делом (и к тому же немаловажным для всей страны), мы вынуждены попутно искать другие источники дохода, чтобы свести концы с концами.

К сожалению, заповедник уже многие годы стоит буквально с протянутой рукой. Федеральное финансирование ограничивается исключительно выплатой зарплаты. Многие научные темы и программы удастся осуществлять благодаря постоянному спонсору заповедника — Международному фонду дикой природы

(World Wide Fund for Nature, WWF). А ведь кроме выполнения таких важных задач, как изучение и охрана природы, экологическое просвещение, заповедник должен решать и самые обыденные, довольно заурядные проблемы. Постоянно не хватает средств на бензин, запчасти для разной техники (не говоря уже о приобретении новой), для того, чтобы расплатиться за электроэнергию (из-за несвоевременной выплаты поселок иногда погружается во тьму), нет средств на ремонт служебных помещений. Похоже, спасение утопающих — дело рук самих утопающих.

Бывало, доходит и до курьезов. На зубровом питомнике многие годы не могли найти средств, чтобы заменить уже давно отслужившие изгороди, а тут еще и с кормом стало плохо... И в октябре 1995 г. шесть зубров подались на поиски лучшей жизни. Правда, двух из них почти сразу вернули на место, но остальные четыре месяца прожили на свободе. Все эти месяцы зубры кормились озимыми на землях расположенного по соседству сельскохозяйственного предприятия и сеном, периодически посещая сенобазу. К людям

и технике они относились миролюбиво и проявляли агрессию, лишь когда их пытались вернуть в питомник. Только в феврале следующего года зубров (заметим, весьма окрепших и упитанных) наконец-то удалось водворить на место, а спустя некоторое время удалось найти средства для замены изгородей.

С 1994 г. Окский заповедник находится под покровительством Совета Европы и один из первых в нашей стране удостоен диплома этой организации. Присуждение диплома Совету Европы — признание того, что охрана природы в заповеднике ведется в соответствии с общеевропейским стандартом. Надеемся, что и родное правительство обратит внимание на горстку людей, которые призваны беречь и охранять природу в тяжелое для страны время. Пока же все ограничивается лишь формальностью. Так, в 1999 г. на совещании руководителей российских заповедников во Владивостоке было решено учредить новый праздник. Отныне 14 октября — День работников государственных заповедников. В 2000 г. этот праздник отмечали впервые.

Не знаю, как в других заповедниках, а у нас об этом празднике напоминал лишь листочек, приколотый к дверям конторы, поздравляющий сотрудников с их первым в истории праздником. Не было ни всеобщего ликования, ни радостных лиц.

\* \* \*

Торжественными криками приветствуют посетителей журавли, спокойно пасутся зубры. Черный аист — символ заповедника, изображенный на его эмблеме, — регулярно выводит своих птенцов. Вольготное чувствует себя в этих краях выхухоль, спасение которой было первоочередной задачей, да и многие другие не менее интересные животные беззаботно чувствуют себя на заповедной территории. Им и невдомек, какой ценой дается их спокойствие, да это и в самом деле не должно их волновать. Ведь, если разобратся, изучать и охранять этот мир гораздо важнее для нас, людей, чтобы не остаться когда-нибудь на этой планете в полном одиночестве. Не стоит забывать, что с исчезновением окружающей нас природы мы тоже будем обречены. ■

## Литература

1. Тихомиров В.Н., Самарина Б.Ф., Волоснова Л.Ф. Флора сосудистых растений Окского заповедника // Флора и фауна заповедников СССР. М., 1987.
2. Волоснова Л.Ф., Игнатова Е.А., Игнатов М.С. // Бриол. журн. 2000. Т.9. С. 3—12.
3. Волоснова Л.Ф. // Микробиология и фитопатология. 1997. Т.31. Вып.1. С.8—18.
4. Позвоночные животные Окского заповедника. Аннотированные списки: рыб, земноводных, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих // Флора и фауна заповедников СССР. М., 1992.
5. Птицы СССР: Курообразные. Журавлеобразные. М., 1987.

МОСКВА

4–5 октября 2001 года

**Конгресс исторических городов  
и регионов России**

контактные телефоны:

975 5825

975 5808

О  
С  
Т  
А  
В  
Н  
Е  
Ш  
Е



# Судьба звездных скоплений

В.Г.Сурдин

## Симметрия формы и симметрия эволюции

Симметрия в природе — признак красоты: биолога восхищает радиолярия, химик любит фуллерен, физик с детским любопытством изучает мыльные пузыри, астроном с изумлением взирает на звездные скопления. Идеальная форма последних сулит легкую разгадку их природы. Но это не так. Хотя звездные скопления — объект пристального внимания астрономов (многие посвящают их изучению всю свою жизнь), в происхождении и эволюции этих «звездных городов» еще много неясного. Особенно это касается шаровых звездных скоплений — наиболее старых, массивных и симметричных среди всех остальных. По мере изучения этих элегантно-«небесных созданий» путем все более точного моделирования их жизни с помощью компьютера наше восхищение перед их пространственной симметрией уступает место более глубокому чувству, связанному с симметрией их эволюционного цикла.

Дело в том, что процесс формирования звезд, и особенно звездных скоплений,



*Владимир Георгиевич Сурдин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга. Область научных интересов — формирование звезд и звездных скоплений. Один из постоянных авторов «Природы».*

скрыт в недрах гигантских газо-пылевых облаков. Когда эти области стали доступны для наблюдения при помощи инфракрасных и радиотелескопов, когда астрономы обнаружили там формирующиеся звездные скопления, то оказалось, что главная проблема их эволюции решена. Но, как выясняется, понять свойства звездных скоплений невозможно, не решив проблему их смерти. Эта мысль, очевидная для биолога, пока еще непривычна астроному, ибо звездные системы эволюциониру-

ют медленно, а возраст Вселенной не так уж велик. Поэтому, намереваясь рассказать о динамической эволюции звездных скоплений, мы особенно подробно рассмотрим механизмы их разрушения, позволяющие понять некоторые «темные» стороны их жизни.

## Многообразие звездных систем

Все звезды — члены тех или иных систем; до сих пор ас-



*Шаровое звездное скопление Мессье 13, наблюдаемое в созвездии Геркулеса, одно из крупнейших в Галактике. Содержит более миллиона звезд и имеет диаметр около 100 пк.*



*Группа чрезвычайно молодых звезд в созвездии Ориона. Четыре яркие звезды, называемые Трапецией Ориона, уже расчистили вокруг себя пространство от остатков протозвездного газа. Но большинство звезд этого коллектива еще скрыто в недрах темного облака, лежащего за Трапецией.*

трономы не обнаруживали светил, свободно и в одиночку блуждающих по Вселенной. Системы звезд поражают нас диапазоном масштабов и разнообразием морфологии: от двойных звезд до гигантских галактик, состоящих из сотен миллиардов светил и имеющих самые замысловатые формы. В ряду этих систем немалый диапазон занимают звездные скопления и ассоциации, содержащие от  $10^2$  до  $10^6$  звезд. Звездные скопления как более концентрированные и ярко выраженные на небе агрегаты начали обнаруживать и описывать еще в XVII—XVIII вв. Но их роль в круговороте звездной эволюции оставалась неясной, пока в XX в. не были выделены значительно более разреженные и малозаметные группировки молодых звезд — ассоциации, а затем и комплексы. Ныне номенклатура внутригалактических звездных агрегатов такова:

– двойные и кратные (т.е. тройные и т.д.) звездные системы;

– рассеянные звездные скопления;

– шаровые звездные скопления;

– звездные ассоциации;

– звездно-газовые комплексы.

В динамическом смысле двойная звезда — система из двух светил, обращающихся вокруг общего центра масс. Она чрезвычайно стабильна и была бы практически вечной, если бы не влияние соседей и физическая эволюция ее собственных компонентов. Близкие пролеты соседних звезд, массивных звездных скоплений и облаков межзвездного газа постепенно меняют характер движения компонентов двойной звезды: они либо катастрофически сближаются, либо удаляются друг от друга и навсегда теряют связь. При этом наблюдается любопытная закономерность: под действием гравитационных возмущений от пролетающих мимо звезд изначально далекие друг от друга компоненты двойных систем расходятся еще дальше, а изначально близкие — сближаются и в конце концов сливаются.

Однако процесс этот длительный; внутренняя механическая устойчивость гарантирует двойным звездам долгую жизнь. Поэтому около половины всех звезд в Галактике объединены в двойные системы, размеры которых лежат в диапазоне от нескольких диаметров типичной звезды ( $\sim 10^9$  м) до характерного межзвездного расстояния ( $\sim 10^{16}$  м).

Звездные системы высокой кратности (тройные и более сложные) представлены в Галактике не так широко. Причина очевидна: в отличие от устойчивого периодического движения двойной звезды система из трех и более тел имеет хаотическую внутреннюю динамику, чреватую взаимными сближениями компонентов и обменом между ними энергией. В результате кратная система быстро распадается на серию одиночных и двойных звезд. Впрочем, системы высокой кратности, имеющие иерархическую структуру, могут жить долго. Их члены упакованы по принципу матрешки: например, широкая система из двух тесных двойных



*Знаменитое рассеянное скопление Плеяды, легко доступное для наблюдения невооруженным глазом в созвездии Тельца. Возраст около 100 млн лет. Облака межзвездного газа, которые рассеивают свет ярких звезд скопления, не имеют к нему отношения: они лежат между Землей и Плеядами.*



*Рассеянное скопление Мессье 7. Наблюдается в созвездии Скорпиона, на фоне более далеких звезд центральной области Галактики. Возраст около 300 млн лет — весьма преклонный для рассеянного скопления.*

звезд весьма устойчива. Такую двухуровневую систему представляет звезда  $\epsilon$  Лиры. Известны и примеры более высокой иерархичности: одна из самых сложных систем — звезда Кастор ( $\alpha$  Близнецов) — имеет шесть компонентов, распределенных на трех уровнях иерархии. Но поскольку каждый более высокий уровень требует существенного увеличения размера системы, в нашей Галактике населенность таких агрегатов ограничена несколькими десятками звезд [1]. Все более населенные скопления звезд имеют хаотическую структуру и динамику.

Пример рассеянного скопления звезд известен многим — это симпатичная группа Плеяды (Стожары) на зимнем небе в созвездии Тельца. Хотя наш глаз замечает в ней в лучшем случае пять-шесть слабеньких звездочек, в телескоп их можно насчитать несколько сотен; это типичное рассеянное скопление. Термин «рассеянное» связан с их

рыхлым внешним видом и в основном обязан малому числу звезд, среди которых всего несколько ярких, определяющих «лицо» скопления. В диске Галактики порядка 100 тыс. таких скоплений, но из них детально изучены лишь около 500. Возраст этих скоплений заключен в интервале  $10^6$ – $10^{10}$  лет, но преобладают молодые: среди изученных всего около 50 имеют возраст более 1 млрд лет. Типичный размер рассеянного скопления — несколько парсеков (1 пк = 3.26 световых лет). Их массы измеряются пока не очень точно: они лежат в интервале  $10^2$ – $10^4$  масс Солнца ( $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$  кг), а средняя масса рассеянного скопления близка к  $10^3 M_{\odot}$  [2].

Самые молодые рассеянные скопления возрастом 1–10 млн лет еще погружены в родительское газовое облако. В основном они сосредоточены в спиральных рукавах Галактики. Скопления возрастом более 30 млн лет уже практически не связаны с га-

зом. А наиболее старые рассеянные скопления возрастом 8–12 млрд лет по массе и химическому составу звезд приближаются к шаровым и насыщают внешнюю часть диска Галактики, практически лишённую межзвездного газа.

Шаровые звездные скопления населяют не только диск Галактики, но и весь объем окружающего его гало. Их диаметры заключены в пределах от 10 до 500 пк. Массы большинства шаровых скоплений лежат в диапазоне от  $10^4$  до  $2 \cdot 10^6 M_{\odot}$ . Именно большому количеству звезд они обязаны своей правильной формой. По этой же причине, а также в силу своего положения вдали от непрозрачного галактического диска, шаровые скопления видны в самых дальних уголках Галактики. Сейчас в каталоги занесено около 150 шаровых скоплений; всего их в Галактике, как показывают расчеты, не более 180 [3]. Таким образом, система шаровых скоплений изучена практически полностью.



Возраст таких скоплений близок к хаббловскому возрасту Вселенной (15–18 млрд лет). На это указывают несколько независимых фактов. Например — «химические часы», т.е. накопление в межзвездном веществе Галактики химических элементов тяжелее гелия, выбрасываемых умирающими звездами. Чем позже сформировалась из этого вещества звезда, тем больше в ее составе тяжелых элементов (кислорода, углерода, азота и др.). Звезды шаровых скоплений наиболее бедны такими элементами, а значит, они очень старые. Другое указание на преклонный возраст — их сильно вытянутые галактические орбиты. Это говорит о том, что шаровые скопления родились или вошли в состав Галактики ранее той эпохи, когда она пришла в стационарное состояние. Эти и другие факты указывают, что эпоха формирования шаровых скоплений предшествовала эпохе формирования Галактики или совпала с ней [4].

От шаровых и рассеянных звездных скоплений, члены которых прочно связаны между собой взаимным притяжением, принципиально отличаются звездные ассоциации и комплексы, имеющие большую протяженность и очень низкую плотность, но демонстрирующие при этом несомненную генетическую связь своих членов. Наиболее известны группировки молодых массивных звезд спектральных классов O и B, открытые в первой половине XX в. и названные OB-ассоциациями. В отличие от звездных скоплений они не демонстрируют заметной концентрации звезд к центру системы и не выделяются в звездном поле «на глаз», однако совместное формирование их членов не вызывает сомнения. Эти разреженные звездные «коллективы» содержат от десятков до нескольких сотен голубых звезд и навер-

няка тысячи менее массивных звезд, которые не так легко заметить. Диаметры OB-ассоциаций варьируют от 15 до 300 пк, что значительно превышает размеры рассеянных скоплений с такой же характерной массой. Наконец, еще более рыхлые образования — обширные группировки молодых звезд, населяющие звездно-газовые комплексы [5]. Их размеры близки к 1000 пк, и по существу это фрагменты спиральных рукавов Галактики.

### Рождение и молодость звездных коллективов

Какова связь между описанными выше группировками звезд и какова их роль в жизни Галактики? Именно эти вопросы интересуют сейчас астрономов, изучающих звездные скопления. Дело в том, что научившись при помощи инфракрасных телескопов заглядывать в недра космических облаков, туда, где рождаются звезды, мы увидели, что рождаются они большими группами. Но что происходит с ними дальше? В период формирования они выглядят очень плотными и стабильными, но почему же тогда не сохраняются надолго? Почему доля звезд Галактики, объединенных в звездные скопления, чрезвычайно мала ( $\sim 10^{-3}$ )? В поиске ответов на эти вопросы астрономы обнаружили в последние годы много интересного.

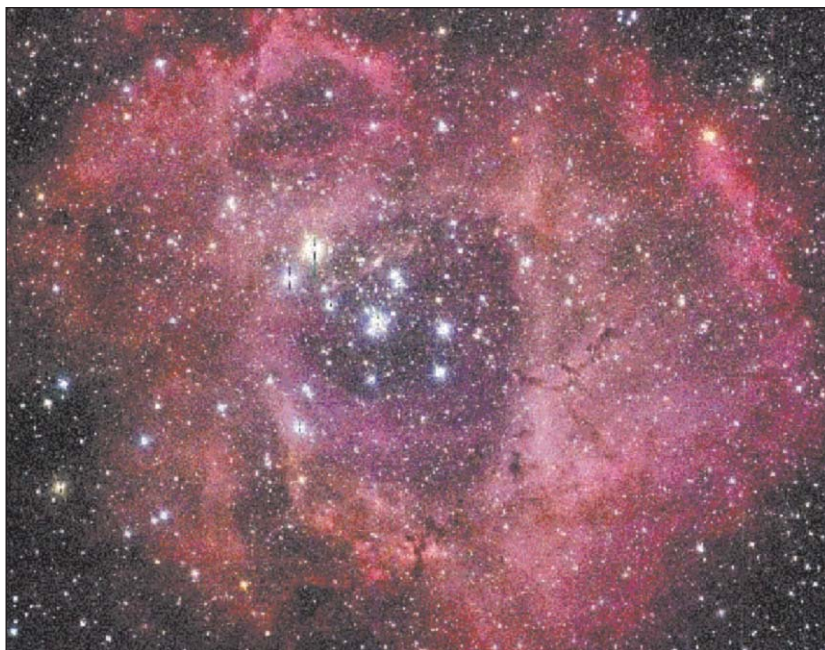
Оказалось, что в период формирования и ранней молодости звездного скопления существует несколько явлений, весьма быстро приводящих к его частичному или даже полному разрушению. Наиболее важное из них — выброс из формирующегося скопления остатков межзвездного газа. Это происходит сразу после рождения наиболее массивных звезд, обладающих очень мощным излучением, способным разогреть и даже

ионизовать протозвездный газ. Образовавшийся горячий плазменный шар своим высоким давлением разрушает родительское облако, и новорожденная группа звезд оказывается «изъятой» из той «гравитационной ловушки», которой служило для него массивное облако.

Предоставленную самой себе группу новорожденных звезд ожидает три возможных исхода. Первый, когда скорости хаотического движения звезд так велики, что они преодолевают взаимное притяжение и разлетаются от места рождения навсегда, — образуется расширяющееся «облако» молодых светил, или ассоциация. Второй, когда взаимного притяжения звезд достаточно, чтобы удержать их вместе, — образуется звездное скопление. И третий исход, когда медленно движущиеся звезды остаются на месте и формируют гравитационно связанное скопление, а более «шустрые» светила разлетаются в виде ассоциации.

Очевидно, в зависимости от конкретных условий, в различных областях звездообразования реализуются все три варианта. Наблюдения показывают, что нередко звездное скопление находится в центре ассоциации, а она сама представляет как бы корону, звезды в которой слабо связаны гравитацией как со скоплением, так и друг с другом. У некоторых OB-ассоциаций по измеренным движениям звезд обнаружены признаки расширения со скоростью 7–10 км/с. При этом характерное время расширения составляет 2–5 млн лет. Поэтому через несколько миллионов лет после рождения такая ассоциация полностью растворится в окружающем поле звезд. Наши расчеты показывают, что именно таким путем — через расширяющиеся ассоциации — большинство звезд попадают в галактический диск;





*Туманность Розетка (NGC 2244) — очень красивый объект диаметром около 100 световых лет (30 пк). В центре «розетки» — молодое звездное скопление, которое разогрело окружающий газ и уже изгнало его из центральной части облака.*

а в составе скоплений остается их меньшая часть [6,7]. Но история «разрушительной молодости» скопления на этом не заканчивается.

Медленные звезды, не способные преодолеть притяжение, начинают приближаться друг к другу и взаимодействовать все сильнее. Происходящий при этом процесс обмена энергией между ними впервые был описан на современном математическом языке английским астрономом Д. Линден-Беллом в 1967 г. и назван бурной релаксацией (violent relaxation). Но первая мысль об этом процессе родилась у Исаака Ньютона, обладавшего поразительным физическим чутьем. В известных письмах Ричарду Бентли он высказал несколько замечательных идей, в частности о гравитационной неустойчивости однородного вещества. Там же он нарисовал умоглядную картину, фактически

предвосхитившую теорию звездной релаксации. В первом, наиболее известном письме к Бентли от 10 декабря 1692 г., формулируя идею о гравитационной неустойчивости, Ньютон описал идеальную картину коллапса: «Мне представляется, что если бы вещество нашего Солнца и планет, да и все вещество Вселенной было бы равномерно рассеяно по всему небу и каждая частица обладала бы внутренне присущим ей тяготением ко всем остальным, а все пространство, по которому было бы рассеяно это вещество, было бы конечным, то вне этого пространства вещество под действием своего тяготения стремилось бы ко всему веществу внутри него и, следовательно, падало бы к центру пространства, и образовало бы там одну гигантскую сферическую массу».

Но уже в четвертом письме от 25 февраля 1693 г. великий

физик доводит картину коллапса протозвездного вещества до более реалистического уровня: «Однако материя при падении могла бы собираться в множество круглых масс, наподобие тел планет, а те, притягивая друг друга, могли бы обрести наклонность спуска и в результате падать не на большое центральное тело, а в стороне от него, и, описав вокруг него полукруг, снова начать подниматься теми же шагами и ступенями движения и скорости, какими до того они опускались, на манер комет, обращающихся вокруг Солнца» [8].

Как известно, пролетающие через внутренние области Солнечной системы кометы при случайном взаимодействии с планетами часто изменяют свою траекторию так, что навсегда уходят за пределы планетной системы. Такая же судьба ждет многие звезды, проходящие близ центра скопления в период его первоначального сжатия: ведь при движении в нестационарном гравитационном поле энергия частиц не сохраняется. Численные модели показывают, что от 5 до 30% всех звезд после этого навсегда покидают скопление с весьма большими скоростями. Вслед за этим происходят события иного рода, но имеющие те же последствия. Значительная доля массивных новорожденных звезд входит в состав тесных двойных систем, компоненты которых обращаются вокруг центра масс со скоростью в десятки километров в секунду. Спустя несколько миллионов лет после рождения одна из звезд в каждой паре заканчивает свою эволюцию, взрывается как сверхновая и теряет при этом большую часть своей массы; а ее соседка, имея большую орбитальную скорость и неожиданно лишившись притяжения партнера, вылетает, как камень из пращи, и покидает скопление навсегда.

В связи с этим можно вспомнить, что в областях звездообразования кроме медленно расширяющихся звездных ассоциаций наблюдаются также «убегающие звезды» («runaway stars»), находящиеся за пределом ассоциации, но имеющие к ней прямое отношение. Их движение указывает, что они покинули область формирования несколько миллионов лет назад и удаляются от нее значительно быстрее, чем расширяется ассоциация. Например, звезды AE Aur и  $\mu$ Col разлетаются из области Трапедии Ориона со скоростью 130 км/с, а двойная система Vela X-1 с рентгеновским пульсаром 2.5 млн лет назад вылетела из звездной ассоциации Vela OB1 и удаляется от нее со скоростью 90 км/с. Трудно сказать, какой именно из описанных выше эффектов сыграл роль в каждом конкретном случае, но оба они эффективно разрушают скопления.

Итак, по прошествии нескольких миллионов лет после рождения группы звезд в недрах космического облака оно разрушается новорожденными звездами, а сами звезды в большинстве своем покидают место рождения. Лишь меньшая их часть (~10%) остается связанной в звездных скоплениях, время жизни которых измеряется уже сотнями миллионов и даже миллиардами лет.

### Механизмы эволюции взрослых скоплений

После того как молодое звездное скопление рассталось с остатками родительского газа и быстрыми звездами, оно приходит в стационарное состояние, но все равно продолжает медленно терять звезды под действием процессов внутренней релаксации и под влиянием внешних гравитационных возмущений.

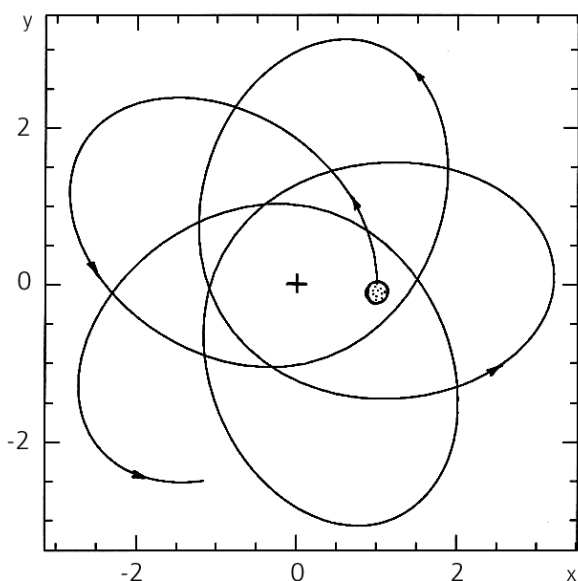
Двигаясь в стационарном гравитационном поле скопления, звезды время от времени сближаются друг с другом и под действием взаимного притяжения изменяют свои траектории и энергию движения. Звездная система, как и любая другая система взаимодействующих частиц, стремится со временем к термодинамическому равновесию и максвелловскому распределению энергии между частицами. Однако звездное скопление не колба с газом: у него нет стенок. Поэтому звезды, получившие в ходе обмена энергией большую скорость, вылетают из скопления навсегда, подобно тому, как испаряются молекулы из открытого стакана с водой. Астрономы называют это диссипацией звездных скоплений. Особенно активно происходит диссипация относительно маломассивных рассеянных скоплений: тысячи звезд полностью «испаряются» за несколько сотен миллионов лет.

Продолжая аналогию со стаканом воды, легко понять, что любое внешнее гравитационное воздействие влияет на скопление звезд подобно нагревателю, опущенному в воду, т.е. усиливает «испарение» молекул — звезд. Для рассеянных скоплений, движущихся в пределах галактического диска по почти круговым орбитам, главным источником гравитационных возмущений служат близкие пролеты гигантских молекулярных облаков с массами  $10^5$ – $10^6 M_{\odot}$  [9]. При этом среднее время жизни рассеянного скопления в диске Галактики оказывается всего  $3 \cdot 10^8$  лет. Именно поэтому все известные рассеянные скопления так молоды — старые давно разрушились.

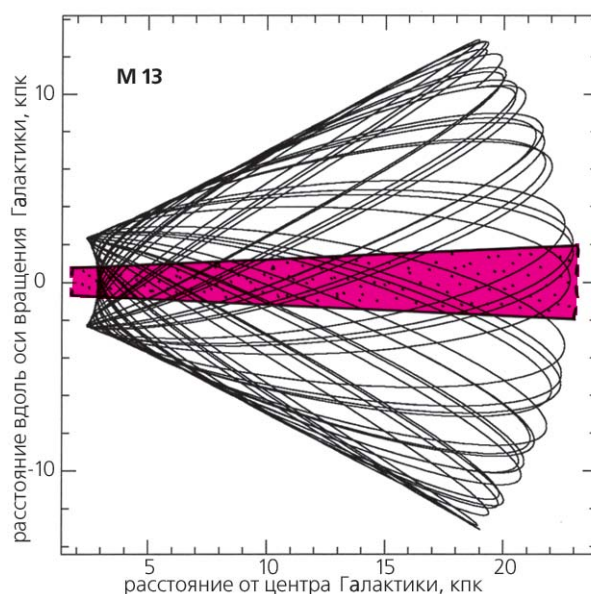
Для шаровых скоплений, большую часть жизни проводящих за пределами галактического диска, встречи с межзвездными облаками существенного значения не имеют,

ибо происходят крайне редко [10]. Зато эти скопления регулярно пересекают плотный диск Галактики, попадая в его весьма неоднородное поле и испытывая при этом резкий «гравитационный удар». Такие удары ощущают «нагреваются» шаровое скопление, ускоряя его диссипацию и заставляя оставшиеся в скоплении звезды удаляться от центра (по аналогии с лабораторной физикой можно назвать это тепловым расширением скопления). В этом случае расширение звездного скопления чревато его распадом, поскольку неоднородное гравитационное поле Галактики вызывает приливы и стремится растянуть скопление вдоль направления на галактический центр. Поэтому распухшее скопление теряет звезды со своей периферии, которые некоторое время сопровождают его по галактической орбите (как метеорный рой сопровождает ядро кометы), а затем «растворяются» среди прочих звезд Галактики.

Еще один чрезвычайно любопытный эффект, влияющий на жизнь самых массивных шаровых скоплений, — это динамическое трение, тормозящее движение массивного тела, летящего сквозь рой легких частиц. Этот эффект хорошо известен физикам в случае кулоновского взаимодействия и с успехом используется в ускорительной технике для электронного охлаждения пучков быстрых протонов. В Галактике роль протона играет шаровое скопление, роль электронов — окружающие его звезды, а кулоновскую силу заменяет гравитация. Возмущающая движение звезд и отдавая им свою энергию, скопление по спирали падает к центру Галактики. Чем ближе оно оказывается к плотному галактическому ядру, тем сильнее ощущает его приливное влияние и теряет от этого свои наружные слои. Так что до само-



Типичная орбита шарового скопления в проекции на плоскость Галактики. Если бы вся масса Галактики была сосредоточена в ее центре (как в Солнечной системе она сосредоточена в Солнце), то орбита была бы обычной эллиптической. Но вещество Галактики распределено во всем ее объеме, поэтому орбита похожа на сильно прецессирующий эллипс.



Орбита шарового скопления Мессье 13 в проекции на меридиональную плоскость Галактики. По вертикали — расстояние (в кпк) вдоль оси вращения галактического диска; по горизонтали — вдоль радиуса диска от его центра. В центре показано сечение диска.

го центра Галактики добираться в лучшем случае «огрызок» шарового скопления — его ядро, вносящее свой вклад в строительство галактического ядра [11].

Изучение описанных выше и многих других механизмов эволюции звездных скоплений привело к важным выводам об эволюции Галактики в целом. Во-первых, яснее стало происхождение ядер галактик и звезд гало: важную роль

в этом сыграла уже несуществующая, разрушившаяся часть популяции шаровых скоплений. Во-вторых, теперь мы лучше понимаем, какие свойства шаровых скоплений являются врожденными, а какие — приобретенными в ходе длительной динамической эволюции. Именно врожденные свойства этих древних звездных скоплений помогают восстанавливать историю формирования нашей Галактики. На-

конец, одной из важнейших особенностей современного рождения звезд оказалось их взаимодействие с окружающим газом, приводящее к формированию различных звездных систем — скоплений, ассоциаций, комплексов. ■

**Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проекты 98-02-30048, 00-15-96627, 00-02-17804.**

## Литература

1. Сурдин В.Г. // Вестн. МГУ. Сер. Физика, астрономия. 1997. Т.52. №1. С.63—66.
2. Данилов В.М., Селезнев А.Ф. // Astron. and Astrophys. Transactions. 1994. V.6. P.85—155.
3. Сурдин В.Г. // Письма в «Астрон. журн.». 1994. Т.20. №6. С.467—472.
4. Meylan G., Heggie D.C. // The Astron. Astrophys. Rev. 1997. V.8. P.1—143.
5. Ефремов Ю.Н. Очаги звездообразования в галактиках. Звездные комплексы и спиральные рукава. М., 1989.
6. Сурдин В.Г. Письма в «Астрон. журн.». 1995. Т.21. №8. С.574—579.
7. Moskal E.V., Surdin V.G. // Astron. and Astrophys. Transactions. 1998. V.15. P.37—43.
8. Данилов Ю.А. // Вопр. истории естествознания и техники. 1993. №1. С.30.
9. Сурдин В.Г. Гигантские молекулярные облака. М., 1990.
10. Сурдин В.Г. // Письма в «Астрон. журн.». 1997. Т.23. №3—4. С.268—272.
11. Сурдин В.Г., Архипова Н.А. // Письма в «Астрон. журн.». 1998. Т.24. №5—6. С.407—414.



# Новый метод определения вирусной нагрузки

М.Н.Мельникова, А.В.Виноградов,  
Б.М.Медников, Л.А.Чекановская  
Москва

В отечественной медицине не о течении болезни, вызванной, например, бактериями, микоплазмами, грибами, простейшими или вирусами, и об эффективности лечебных препаратов обычно судят по результатам биохимических и иммунологических анализов. Гораздо рациональнее было бы следить за развитием или угасанием численности болезнетворного начала непосредственно, т.е. прямо определяя его количество. В настоящее время такой способ интенсивно внедряется в клиническую практику.

Этот метод основан на полимеразной цепной реакции (ПЦР), за разработку которой К.Муллис в 1993 г. был удостоен Нобелевской премии. ПЦР относительно проста в исполнении, чрезвычайно специфична и чувствительна — позволяет выявить в пробе единственный ген. Мы не будем приводить описание полимеразной цепной реакции, она подробно освещалась на страницах «Природы» [1]. Скажем лишь, что с помощью этого метода удастся получить до миллиона копий нужного гена всего за несколько часов, ис-

пользуя при этом ничтожное количество исследуемого образца. Полученные копии затем можно «опознать», разделив реакционную смесь, например, электрофорезом в геле. К настоящему времени разработаны модификации ПЦР, в числе которых та, что позволяет выявлять не ДНК, а РНК, что чрезвычайно важно для определения РНК-содержащих вирусов.

Используя первые модификации этого метода, можно было судить лишь о наличии вируса в пробе, но и они оказались весьма полезными, чтобы понять, есть ли в донорской крови вирусы СПИДа и гепатитов. Однако при терапии инфекционных болезней важно определить не только присутствие, но и количество болезнетворного агента.

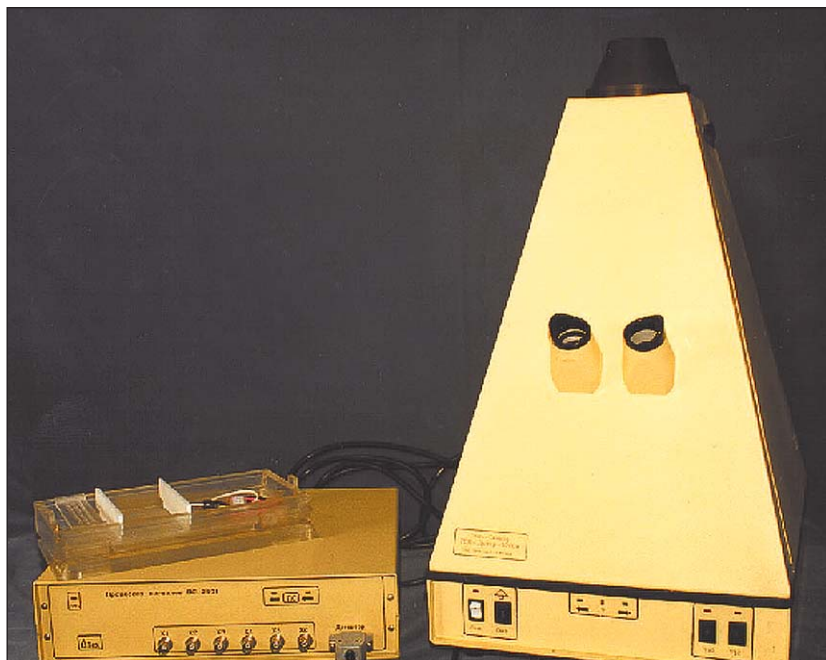
В первую очередь это необходимо, чтобы оценить терапевтическое действие применяемых препаратов. Если проследить за динамикой численности вируса в организме пациента, удастся установить, например, эффективны ли азотимидин в терапии ВИЧ-инфекции (ибо существуют и легко возникают штаммы вируса иммунодефицита человека, на которые это вещество не действует) или интерферон при лечении гепатитов. В по-

вседневной клинической практике суточный ход вирусной нагрузки позволяет правильно выбрать тактику лечения.

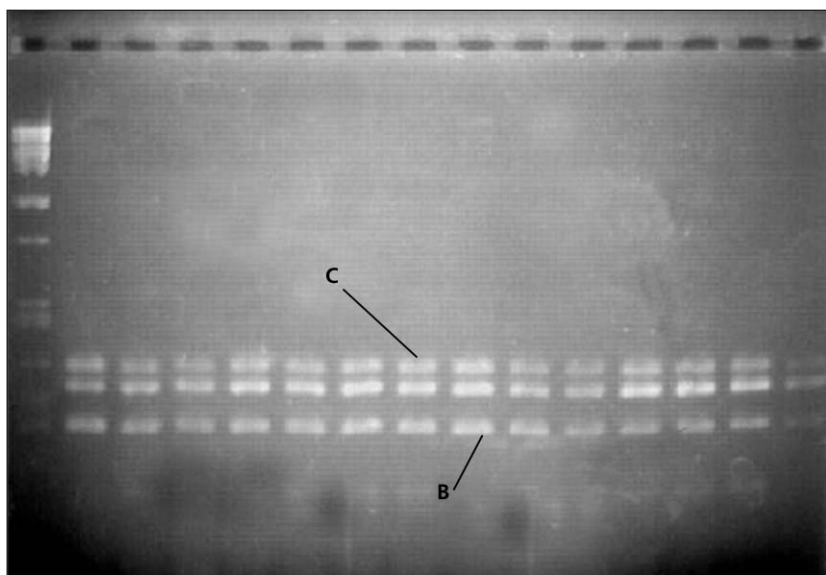
Определение количества вирусных частиц полимеразной цепной реакцией требует введения внутренних или внешних стандартов, а то и обоих сразу.

Известно, что одна из причин стремительного распространения ВИЧ-инфекции — способность вируса существовать в явной (исходной) РНК-форме и скрытой, ДНК-форме. В последнем случае геном вируса в виде ДНК встроен в геном хозяйских лимфоцитов, не имеет антигенов, и его нельзя выявить стандартными способами. Еще труднее определить его количество, поскольку оно связано с числом лимфоцитов в крови, а то в свою очередь зависит от состояния пробы и метода их выделения. В таком случае внутренним стандартом может служить ДНК самих лимфоцитов. Если сопоставить количество копий вирусного гена, полученных полимеразной реакцией, и фрагментов уникальной последовательности хозяйской ДНК, то по разнице можно найти, сколько зараженных вирусом клеток содержится в пробе, т.е. опре-





Установка «шатер» для полуавтоматического разделения смесей биополимеров — ДНК, РНК, белков. Прибор позволяет проводить компьютерную регистрацию результатов разделения и их количественную обработку. Камера для электрофореза показана отдельно — на процессоре.



Электрофореграмма, отражающая результат разделения в «шатре» копий вирусного гена, полученных полимеразной цепной реакцией. Это изображение — результат компьютерной регистрации. Буквой В отмечена полоса, содержащая копии вирусного гена, буквой С — наружного стандарта. По соотношению массы той и другой полосы, умноженному на число копий стандарта, компьютер вычисляет вирусную нагрузку.

делить вирусную нагрузку.

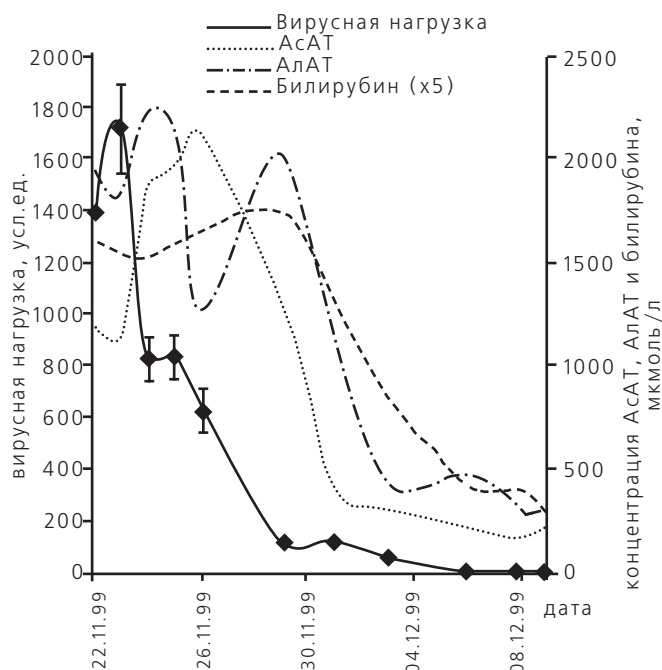
В качестве наружного стандарта используют строго определенное количество хозяйской ДНК. Она одновременно с вирусной ДНК «размножается» (амплифицируется) в ходе ПЦР, образовавшиеся копии той и другой ДНК разделяют электрофорезом и по его результатам, сопоставив количество тех и других копий, судят о числе вирусных частиц в пробе. Заметим, амплификация хозяйской ДНК начинается с добавления в реакционную смесь специальных праймеров (затравок — синтетических нуклеотидных фрагментов), которые отличаются от праймеров для вирусной ДНК. Но возможен и другой вариант наружного стандарта, когда праймеры на вирусную и клеточную ДНК одни и те же. Тогда в контрольную последовательность интегрируют нуклеотидный фрагмент, который позволяет различить вирусную и стандартную ДНК после разделения смеси электрофорезом в геле. Этот метод разработан для вируса иммунодефицита человека и впоследствии применен для определения вирусной нагрузки при гепатите В [2].

Следует заметить, что для точной оценки количества болезнетворного агента в пробе нужно правильно подобрать количество циклов амплификации. Достигается это опытным путем, потому время анализа увеличивается, а эксперимент усложняется. Мы разработали полуавтоматическую систему, в которой разделение биополимеров (ДНК, РНК, белков) электрофорезом сочетается с компьютерным считыванием информации с геля и количественной ее обработкой. Этот прибор, получивший название «шатер» и внедренный в производство, позволяет выявить 3–10 нг ДНК в полосе геля, если использовать традиционный флуоресцентный краситель (бромистый

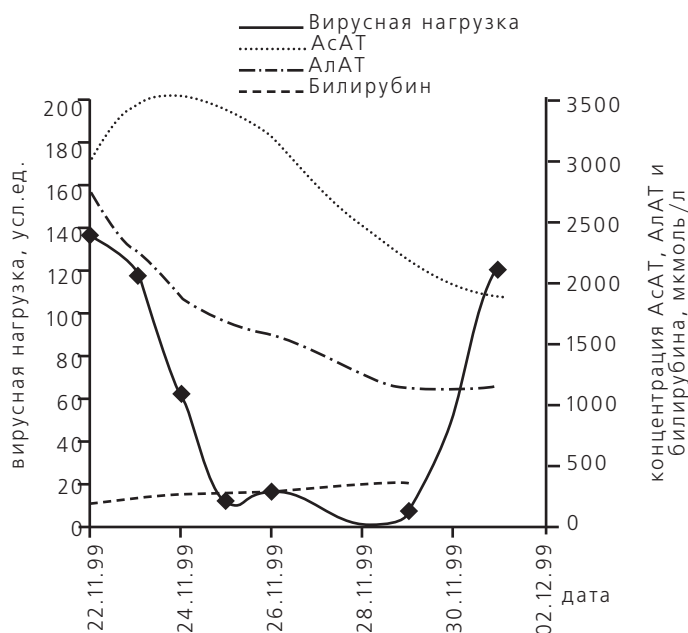
этидий). Но применив для окрашивания недавно разработанные более совершенные соединения, можно повысить чувствительность установки на три порядка. По предварительным данным, себестоимость анализа с помощью нашего «шатра» примерно в десять раз меньше, чем при выполнении на импортном оборудовании.

Сейчас в нашей стране широко распространена диагностика гепатита по концентрации билирубина, а также по выявлению вирусных маркеров — HbS Ag, Hbe Ag с помощью антител. Самые точные результаты дает обнаружение Hbe Ag, но как указывает С.Соринсон, существуют штаммы вируса, которые утратили способность его синтезировать [3]. Кроме того, выработка антител в организме больного зависит от состояния иммунной системы пациента, к тому же отстает от развития болезни и характеризуется значительным позднействием. Что касается билирубина, то его концентрация может варьироваться у больного, поэтому безжелтушная форма и преджелтушная фаза болезни у большинства пациентов остаются нераспознанными. Применяется также диагностика ферментными методами, когда определяют концентрацию аланинаминотрансферазы (АлАТ) и аспаратаминотрансферазы (АсАТ). Но и эти методы диагностики далеки от совершенства, поскольку дают ошибку при анализе хронической формы болезни.

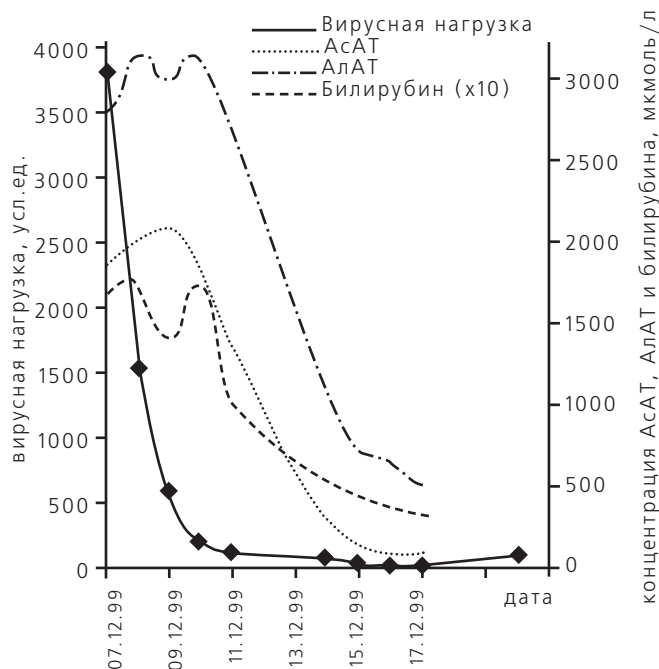
Мы исследовали вирусную нагрузку крови двух пациентов Инфекционной клиники № 1. Судя по результатам анализа одного из них, изменение численности вируса гепатита В имеет затухающий колебательный характер. Концентрация ферментов тоже меняется в ходе болезни и лечения, но ее колебания отстают от всплесков вирусной на-



Графики, построенные по результатам четырех методов анализа крови больного гепатитом В при традиционной терапии острой формы инфекции. Здесь и далее: АсАТ – аспаратаминотрансфераза, АлАТ – аланинаминотрансфераза.



Кривая, отражающая ход вирусной нагрузки крови больного, скончавшегося от гепатита В. Для сравнения приведены кривые анализа аспаратаминотрансферазы (АсАТ), аланинаминотрансферазы (АлАТ) и билирубина.



Кривая хода вирусной нагрузки в процессе лечения гепатита В  $\gamma$ -плантом. Уровни содержания ферментов и билирубина, приведенные здесь же, особенно расходятся с величиной вирусной нагрузки в первые дни лечения препаратом.

грузки на три—пять дней. Вариации в содержании билирубина менее заметны по сравнению с двумя предыдущими показателями. Явное преимущество нашего метода, т.е. слежения за динамикой развития вируса гепатита В, проявилось при обследовании пациента, чья жизнь превратилась в ад. За день до смерти количество вирусных частиц резко увеличилось,

уровень же ферментов остался без изменений, а содержание билирубина было низким на всем протяжении заболевания. Ясно, что по двум последним показателям нельзя было предвидеть трагический конец.

В другой серии опытов мы проследили по вирусной нагрузке эффективность стимулирующего иммунную систему  $\gamma$ -планта — нового препа-

рата для терапии гепатита В. Предварительные результаты дали обнадеживающую картину: количество вируса резко снизилось уже на второй день лечения и через неделю он уже не обнаруживался в пробе. Концентрации ферментов (особенно аланинаминотрансферазы) и билирубина в течение первых четырех-пяти дней лечения оставались такими же высокими, как в день поступления больного в клинику, но к концу 10-дневного курса снизились. Следовательно и об эффективности терапии правильнее судить по результатам прямого определения вирусной нагрузки, чем по биохимическому анализу. Дальнейшие испытания препарата под контролем разных методов анализа были бы крайне полезными, особенно при лечении хронической формы болезни.

По нашему убеждению, определение вирусной нагрузки посредством полимеразной цепной реакции должно стать основным методом диагностики многих инфекционных заболеваний, а не арбитражным, как о том пишут М.Роггендорф и О.Калинина [4]. В числе таких болезней не только гепатиты, но и другие недуги, вызываемые вирусами и бактериями (папиллома, вирусные инфекции гениталий и др.), необходим количественный метод и в исследованиях патогенеза опухолей. ■

## Литература

1. Лауреаты Нобелевской премии 1993 года. По химии — М.Смит и К.Муллис // Природа. 1994. № 1. С. 108—110.
2. Yolov A.A., Kozlova A.V., Jaroslavtseva N.G., Mednikov B.M., Karamov E.V. Quantitative PCR as a method for monitoring retroviral infection of the gene level // Virus Genes. 1995. V. 10. P. 45—51.
3. Соринсон С.Н. Вирусные гепатиты. СПб., 1998.
4. Roggendorf M. New developments in diagnosis of viral hepatitis // Internist. 1995. V.36. № 2. P. 133—138; Калинина О., Рыжова Ю., Мукомолов С. Детекция генома гепатита В методом PCR // Идеи Пастера в борьбе с инфекциями. СПб., 1995. С. 91.

# Возможен ли прогноз лесного покрова Сибири на XXI век?

Д.И.Назимова, Н.П.Поликарпов

**Л**есные экосистемы — мощный фактор стабилизации биосферы. Сохранение лесов приобретает особое значение в меняющихся условиях среды, и в частности для предотвращения катастрофических последствий глобального потепления, которым озабочено мировое научное сообщество на рубеже веков. Перед лесоводами и лесными экологами встают задачи прогноза состояния лесного покрова при различных климатических сценариях.

Какое же будущее ожидает российские леса? Сместятся ли границы лесных и других природных зон, и какой трансформации подвергнется их внутренняя структура? Какие древесные породы будут наиболее устойчивы в новых ситуациях, например в условиях повышенного риска засухи, лесных пожаров, нашествий насекомых-вредителей и других природных чрезвычайных событий? Какие из устойчивых сообществ способны поддержать благоприятную среду обитания человека, а также огромного мира живых организмов?

Первые варианты ответов на эти вопросы получены в начале 90-х годов с помощью со-



**Дина Ивановна Назимова**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института леса СО РАН, эколог, геоботаник. Изучает закономерности высотной поясности и широтной зональности в Сибири. Автор серии работ, посвященной связям растительности с климатом, в том числе модели лесного покрова Северной Евразии. В последние годы занимается применением материалов космической съемки при обзорном картографировании растительного покрова Сибири.



**Николай Павлович Поликарпов**, кандидат сельскохозяйственных наук, заслуженный лесовод Российской Федерации. Много лет заведовал лабораторией лесоводства в том же институте, участник многочисленных экспедиций в лесах Сибири, автор многих публикаций по проблемам экологии и воспроизводства лесов.



пряженного моделирования климата и наземных экосистем на глобальном уровне [1]. Согласно прогнозу зарубежных авторов, бореальные леса Евразии подвергнутся существенной перестройке. В частности, в Сибири возможен существенный сдвиг всех границ природных зон к северу и северо-востоку, замещение редколесий на севере тайгой, а хвойных лесов на юге — лесостепью и даже степью.

Но связи между климатом и растительным покровом всегда региональны. Поэтому для Сибири глобальная модель растительности, воссозданной по ряду параметров климата, неточна. Очевидно, нужна целая иерархия моделей — последовательность ступеней моделирования, в которых будут отражены природные связи разного уровня, а затем и антропогенные факторы.

О том, что заметные сдвиги зон происходили в прошлом, свидетельствуют палеогеографические реконструкции [2]. Так, в частности, в Приенисейской Сибири южная граница леса в голоцене смещалась к северу на 300—400 км, а северная сдвигалась в тундру на 500—700 км [3]. В предгорьях Южной Сибири, издавна обжитых человеком, в течение последних нескольких тысяч лет прослеживается тенденция к медленному наступлению леса на степь. Документально подтверждено, что рост леса на границе со степью за последние сто лет кое-где даже улучшился, несмотря на сильный антропогенный пресс. Это можно объяснить местными циклами увлажнения, наложившимися на общую тенденцию потепления — за последние 100 лет средняя годовая температура приземного слоя воздуха возросла примерно на 0,5°C. Однако по прогнозам, сделанным с учетом накопления углекислого и других парниковых газов, уже в первой трети XXI в. она

может возрасти в азиатской части континента на 3—4°C. По мнению ряда зарубежных экологов, планете грозит опустынивание одних районов и обезлесение других, а лесам Сибири — высокая опасность деградации из-за усиливающегося риска пожаров, таяния мерзлоты, нашествия вредителей и других возможных факторов трансформации лесов, связанных с изменением климата.

К сожалению, результаты численного моделирования не позволяют пока достоверно описать картину климата планеты (и особенно отдельных его регионов) в недалеком будущем. Одно из наиболее узких мест прогноза — эволюция атмосферного увлажнения. Эта часть моделей глобальной циркуляции атмосферы особенно противоречива и неадекватна эмпирическим данным. Прогнозировать же динамику растительного покрова только на базе данных об изменении температуры, по нашему убеждению, не имеет смысла. Только соотношение тепла и влаги, а также их распределение в годовом цикле могут дать ответ на вопрос, будет ли в данном районе пустыня, степь, лес (а если лес, то какой)?

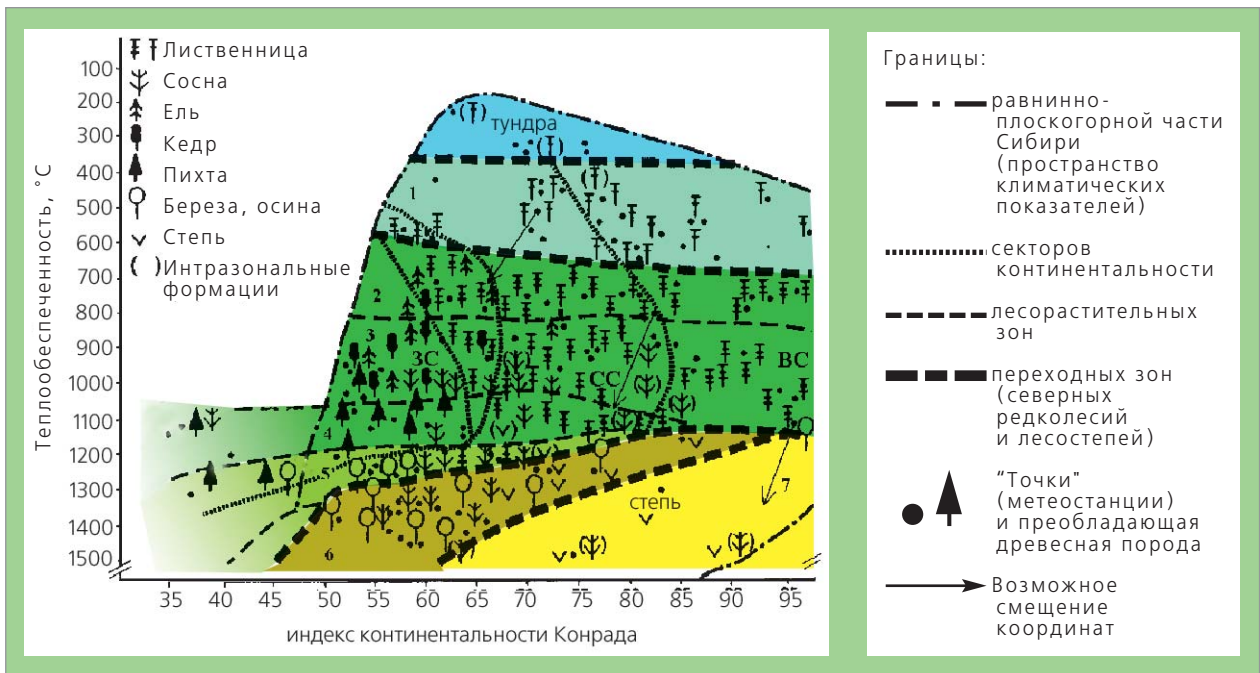
### Первые опыты моделирования лесного покрова Сибири

Количественную связь состава и структуры лесного покрова с климатическими характеристиками мы исследуем давно, начиная с 70-х годов. Вслед за горами Южной Сибири в поле зрения попали территории всего этого региона, а затем и всей Северной Евразии. В итоге создана серия эмпирических графических схем, или портретов, на которых отразилось изменение со-

става и продуктивности лесов в горах или на равнинах в зависимости от теплообеспеченности, сумм осадков, относительного увлажнения, степени континентальности климата [4,5]. Климатическими параметрами в этом моделировании послужили данные, полученные на метеостанциях и дополненные расчетными (поэтому они охватывают весь диапазон значений в Сибири). Характеристики лесного покрова взяты из материалов районирования лесной растительности и фондовых данных лесоустройства.

Графические портреты, один из которых представлен на с. 57, по сути были первыми биоклиматическими моделями лесного покрова, отразившими связи между региональным климатом и биотой (т.е. всей живой частью наземных экосистем) в количественной форме. Кроме лесов, на этих схемах присутствует граница с тундрами и со степями — двумя другими главными биомами (экосистемами крупного зонального ранга) наземного покрова Сибири. Этот немаловажный момент позволяет определять области возможного риска для существования леса и варианты взаимодействия с тундрой и степью при разных сценариях изменения климата, т.е. переходить к прогнозам на биомном уровне.

Система зон и подзон на графических портретах традиционна, а вот выделение секторов континентальности—гумидности (влажности), отмеченных ранее в работах Л.В.Шумиловой, В.Б.Сочавы, А.Г.Исаченко и др., в количественном выражении получено нами впервые. Область перекрытия западносибирского и среднесибирского географических секторов имеет вид неправильного треугольника. Здесь господство темнохвойных лесов постепенно сменяется преобладанием лиственных, которая укрепляется



Пример графической биоклиматической модели лесного покрова Сибири, показывающей систему лесорастительных зон и биомов в координатах теплообеспеченность (сумма среднесуточных температур за сезон роста)—континентальность (по данным материалов лесоустройства и 225 метеостанций). Цифрами обозначены: северные редколесья, притундровые леса (1); тайга северная (2), средняя (3), южная (4); подтайга или смешанные хвойно-лиственные леса (5); лесостепь (6); степь (7). Буквами отмечены секторы континентальности: западносибирский континентальный гумидный (ЗС), среднесибирский резко континентальный гумидный и семигумидный (СС), восточносибирский резко и крайне континентальный — от криосемигумидного до семиаридного (ВС). Согласно одному из сценариев умеренного потепления, сопровождаемого снижением степени континентальности климата, лесорастительный потенциал всех точек смещается в направлении, указанном стрелками.

в северной тайге и редколесье благодаря вечной мерзлоте. Последняя вносит коррективы и в зональную структуру всего восточносибирского сектора, где расширяется зона редколесий и выклинивается южная тайга и подтайга, а на большей части региона превалирует лиственница Каяндера.

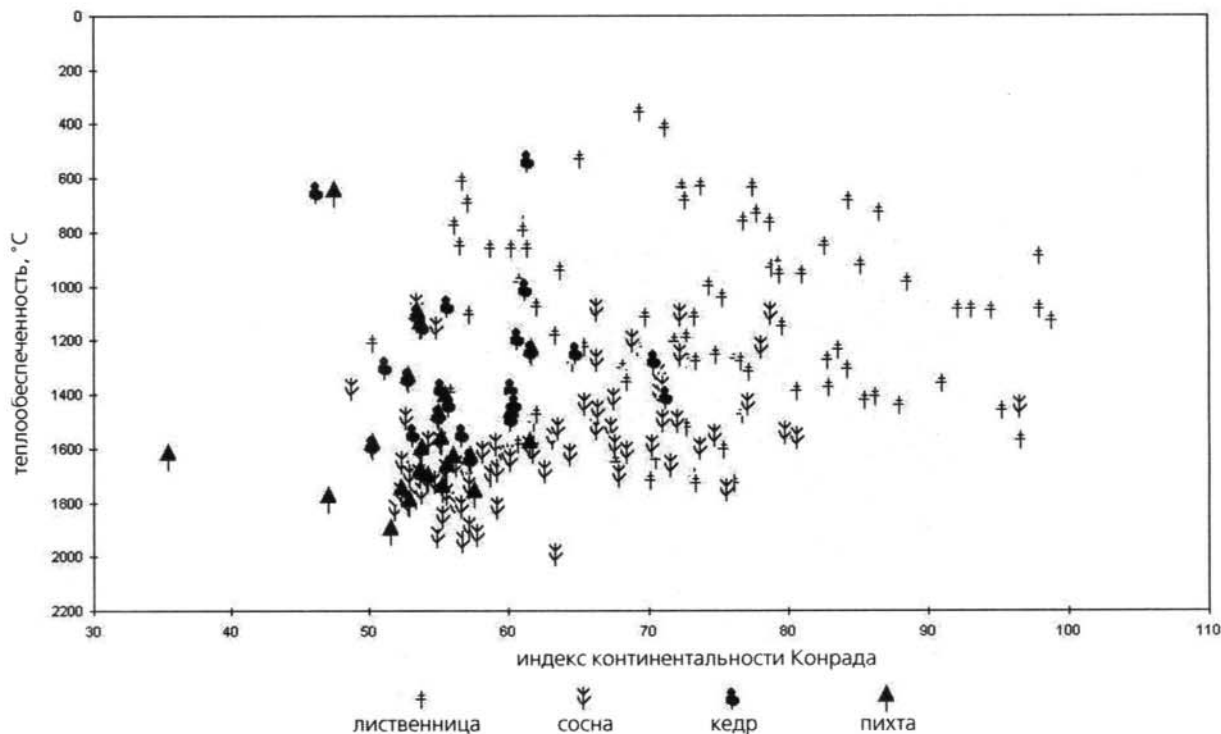
Надо заметить, что секторы географического пространства не вполне совпадают с секторами климатического, особенно в горном рельефе. Чем выше в горы, тем климат обычно мягче и влажнее. Разница в индексах континентальности Конрада\* между подножья-

ми и вершинами гор достигает 20—30, но еще более значимо для растительности относительное увлажнение. Горные и плоскогорные ландшафты Сибири (а они составляют более 50% ее территории) соответственно попадают на графических моделях в два разных сектора континентальности и два-три класса влажности. На компьютерной карте растительности [6], построенной с использованием модели 1990 г. [4], горные территории Сибири достоверно воспроизведены как многопоясные системы, и это вполне согласуется с реальной картиной.

Результаты проверки рабочих качеств биоклиматических моделей [7] наглядно показали, что они имеют прямой выход на обзорное (мелкомасштабное) картографирование растительности. Имея карты с характеристиками тепло- и влагообеспеченности, с помощью модели можно прогнозировать биоклиматический потенциал каждого участка территории с учетом всех особенностей топографии местности при разных сценариях климата.

В последние годы в нашем институте для мелкомасштабного картографирования растительности используются снимки со спутников серии

\* Индекс континентальности Конрада определяется как  $C_{cont} = 1.7 A_{год} / \sin(\varphi + 10^\circ) - 14$ , где  $A_{год}$  — разность между средними температурами июля и января,  $\varphi$  — широта пункта.



Графический портрет состава хвойных лесообразователей Сибири на осях климатических координат теплообеспеченность (сумма среднесуточных температур выше  $10^{\circ}$ ) — континентальность (620 точек). Темнохвойные лесные массивы группируются при меньших показателях индекса континентальности Конрада, чем светлохвойные, тогда как по теплообеспеченности и те, и другие разграничены слабо.

«NOAA», сразу дающие генерализацию изображения крупных участков суши площадью около  $1 \text{ км}^2$ . Снимки подтвердили, что биогеоклиматические высотные зоны в горах можно различить из космоса. Это хорошо видно на подобном изображении Минусинской котловины, приведенном на с.60. Карты высотных зон растительности, составленные традиционными методами, иногда имеют довольно высокую степень сходства с отдельными фотографиями или их частями. В ряде случаев они помогают уточнить границы поясов [8]. Обзорность и повторяемость из года в год делают космическую информацию исключительно ценной для мониторинга растительного покрова, и в частности — прогноза состояния лесов с учетом пожарной ситуации, антропогенных нарушений и т.д.

Следующий этап построения биоклиматических моделей связан с разработкой с 1997 г. автоматизированной информационной системы «Биом». В ней будут отражены связи растительности не только с климатом, но и с другими компонентами биоты, а также с субстратом, в частности — почвами. Это хранилище данных позволит не только строить модели, но и уточнять уже имеющиеся [9].

### Что и как можно прогнозировать на базе информационной модели?

Как уже отмечалось, для большей части Сибири при прогнозах динамики лесной растительности наиболее значимы относительное ув-

лажнение и континентальность. Именно эти показатели в основном определяют положение границ леса и степи, а также темнохвойных (кедровников, ельников, пихтарников и смешанной тайги) и светлохвойных (сосняков и лиственничников) зональных формаций. Не следует путать эти формации с так называемыми интразональными или аazonальными, приуроченными к участкам с особыми почвенными и гидрологическими условиями. Выяснилось, что в Сибири темнохвойные леса не встречаются в зональных ландшафтах, если радиационный индекс сухости Будыко превышает  $0.6-0.7$  в Средней Сибири и  $0.8-1.0$  в Восточной Сибири\*. Индекс

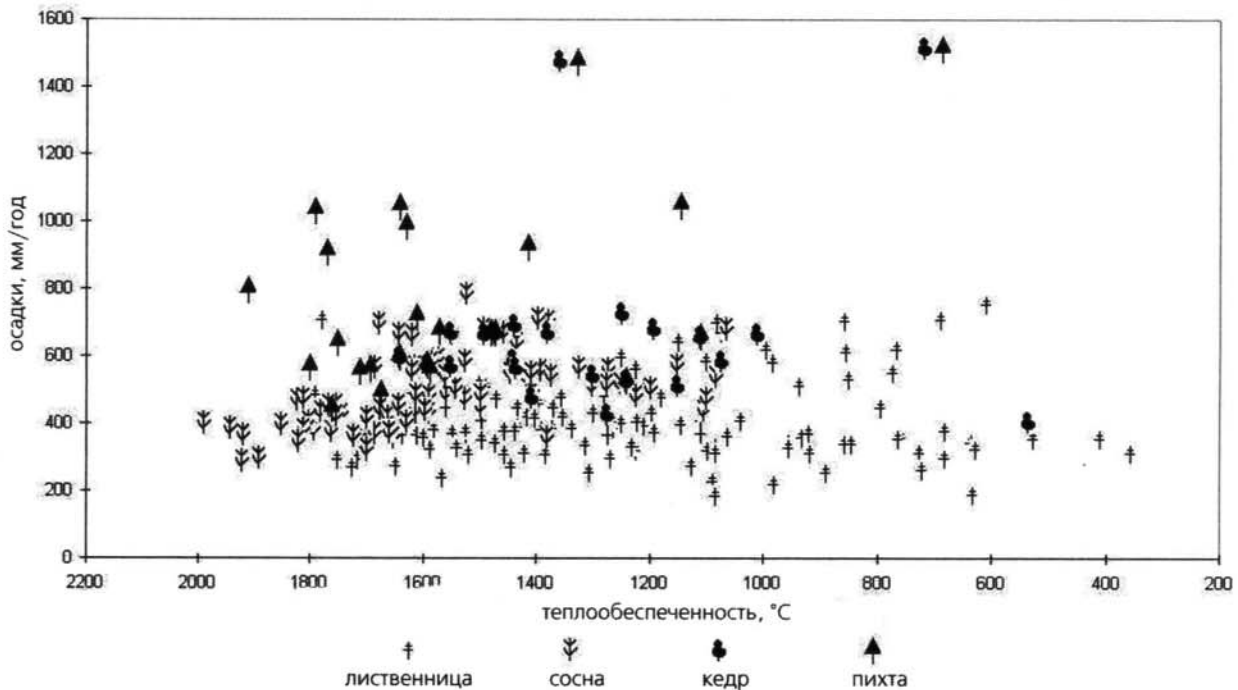
\* Радиационный индекс сухости Будыко определяется как  $I_b = B/LR$ , где  $B$  — радиационный баланс,  $L$  — скрытая теплота испарения воды,  $R$  — годовые осадки.

континентальности Конрада для темнохвойных зон и высотных поясов лежит в диапазоне 35–65 ед., а при больших его величинах они сменяются сосняками (юг Средней Сибири) или лиственничниками (вся Восточная Сибирь). Ростом континентальности обусловлена и смена видового доминирования лиственницы в Сибири: на севере Западной Сибири господствует лиственница сибирская, на севере Средней Сибири — Гмелина, а в Якутии — Каяндера, порода крайне континентального климата. Даже для фоновых лесов, особенно широко распространенных в Сибири (чернично-зеленомошных и багульниково-бруснично-зеленомошных), степень континентальности климата играет роль лимитирующего фактора,

ограничивающего области их доминирования. Значит, нужно разрабатывать прогноз, ориентируясь не просто на интегральные показатели тепло- и влагообеспеченности, но и на режим процессов тепло- и влагопереноса, который учитывается показателем континентальности Конрада.

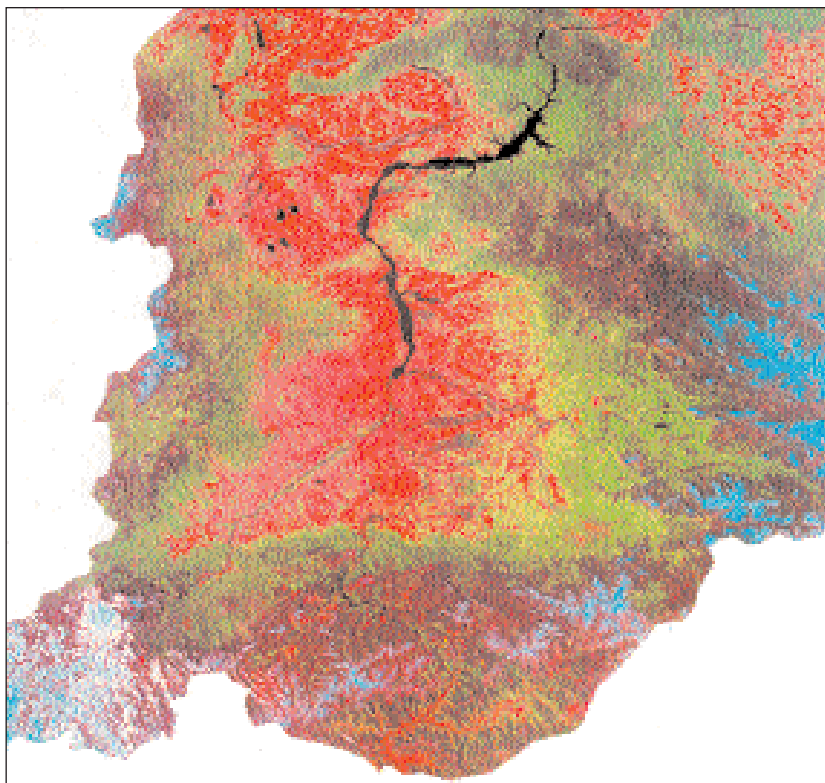
Представленные здесь графические портреты зональных формаций в осях климатического пространства построены по данным информационной системы «Биом». На них каждая точка географического пространства перенесена в климатическое в соответствии с его характеристиками (в базе данных собрано более 30 климатических характеристик для 620 станций Сибири). На схемах можно видеть, что области доминирования (кли-

матические ниши) хвойных формаций Сибири хотя и перекрываются, все же существенно размежеваны по признакам климата. Их взаимодействие определяется климатом и в то же время говорит о его изменениях. Однако это лишь один из способов представления результатов информационного моделирования. В информационной системе «Биом» постепенно собираются самые разнообразные характеристики зональных классов лесных экосистем, их продуктивности, сезонной ритмики жизни — всех сторон функционирования, связанных так или иначе с климатическим режимом данной территории. На следующих этапах моделирования может быть выявлено и влияние антропогенного фактора.



*Графический портрет состава хвойных лесообразователей Сибири в двумерной проекции климатического пространства (620 точек). Области доминирования темнохвойных пород занимают более влажную часть климатического пространства. Намечаются ареалы лесных массивов с господством пихты, кедровой сосны, смешанных хвойных лесов (с елью, кедровой сосной и светлохвойными породами), лиственницы. Сосна не имеет четкого ареала, будучи интразональной породой, но и у нее есть своя климатическая ниша, не занятая темнохвойными породами. Географически это часть Зауралья и юга Средней Сибири.*





*Снимок Минусинской степной котловины и ее горного окружения, сделанный со спутника серии «NOAA» 3 июля 1998 г. Цветовая гамма с высокой точностью передает картину концентрической поясности в горном окружении котловины — от степей и лесостепей в центральной ее части до высокогорных тундр и редколесий. Серия снимков, сделанных в разные сроки, дает богатую информацию о биоклиматическом потенциале каждой зоны или пояса.*

Принцип, лежащий в основе прогнозирования динамики лесного покрова по биоклиматическим моделям, проще всего объяснить на примере представленных выше графических портретов. На модели (см. с.57) границы зон инвариантны, т.е. устойчивы при изменении климата, в климатическом же пространстве место любого географического пункта смещается. Такое смещение может быть показано стрелками, если известны начало и конец движения, либо траекторией, если имеется несколько климатических координат одной точки (станции) в разные сроки прогноза. Дальше можно предсказать, в какую сторону пойдет смена естественной зональной растительности и связанных с ней живых организмов, какие виды или экосистемы окажутся под угрозой, а какие, наоборот, расширят свой ареал.

Система «Биом» используется с 1998 г. с целью прогнозных оценок степеней риска для существования того или иного класса растительности

при задаваемых сценариях климата. В частности, совместно с сотрудниками Института вычислительного моделирования СО РАН (ИВМ) и Красноярского госуниверситета В.Г.Царегородцевым, Л.Ф.Ноженковой, Н.М.Андреевой был выполнен прогноз зонального потенциала для ряда территорий Сибири на первую половину XXI в. На основе этого прогноза и разработанного авторами блока экологических параметров лесообразующих пород будет дана оценка устойчивости отдельных лесных формаций или групп формаций (темнохвойных, сосновых, лиственничных, мелколиственных) в новых условиях

С помощью программы специальной компьютерной технологии, разработанной в ИВМ под руководством А.Н.Горбаня [10], на первом этапе удалось идентифицировать зоны и секторы континентальности с высокой долей надежности: процент правильных ответов в тестирующей выборке составил 80—

96%. Затем был проведен прогноз смены зонального потенциала для 40 географических пунктов Сибири.

В его задачу входило выделение точек, которые могут подвергнуться максимальному риску чрезвычайных ситуаций из-за потери устойчивости экосистем или их отдельных компонентов. Из 36 климатических показателей для прогноза были выбраны средние температуры января и июля, годовые нормы осадков и индекс континентальности Конрада, рассчитанные по данным наблюдений за 15—30 лет.

Оказалось, что на территории Сибири есть немало точек, например Якутск, Иркутск, Братск, Кежма и т.п. (всего 12 из 40), которые могут изменить свой зональный потенциал и перейти в лесостепную зону, если прирост летних температур составит 1—2°C, а зимних 3—4°C. Этот сценарий на 2030 г. не самый экстремальный и на фоне других выглядит достаточно реалистичным.

В отличие от ряда зарубежных вариантов, предполагающих только повышение температуры воздуха, наш прогноз учитывает рост осадков на 30–50 мм/год. Правда, и при этом увлажнение в южной части Сибири останется недостаточным, чтобы компенсировать нарастающий рост теплообеспеченности и «удержать» леса на южной окраине бореальной области — они здесь начнут отступать. Только увеличение мощности снежного покрова и общего годового количества осадков на 140–300 мм и более позволило бы сохраниться здесь зональным светлохвойным и смешанным формациям. Однозначно можно ожидать усиления позиций лиственных пород — осины и, конечно, березы. Мелколиственным породам и сосне всегда принадлежит исключительная роль при всех трансформациях лесного покрова в бореальных экосистемах, и их недаром называют породами-пионерами.

Темнохвойные формации и связанные с ними популяции живых организмов окажутся в условиях повышенного риска для выживания. Климатический режим подтайги и лесостепи неблагоприятен для них уже в силу того, что вызывает высокую пожароопасность в весеннее время. Дело в том, что механизмы элиминации (уничтожения) темнохвойных на южном пределе их распространения не связаны напрямую ни с температурами, ни с порогами устойчивости конкретных видов деревьев к засухе, как считают некоторые исследователи. Лесной пожар, инвазии насекомых-вредителей и тому подобные бедствия — вот те отработанные веками природные механизмы, которые включаются в ходе циклических колебаний климата, приводя экосистему в соответствие с новой климатической обстановкой. Часто действуя

совместно, они разрушают прежние связи и тем самым выполняют важную роль в эволюции ландшафтов Сибири, не просто трансформируя, но и гармонизируя ландшафт, как ни парадоксально это выглядит на первый взгляд.

Масштабы этих воздействий колоссальны. В Сибири пожары, например, повсеместны — они охватывают территорию от южных пределов лесной области и до крайних северных массивов (периодически горят даже северные редколесья, хотя срок пожароопасного периода на севере в 3–5 раз меньше, чем на юге). Без учета потенциальных пожаров не решаются ни вопросы будущего лесного покрова, ни проблемы долговременного прогноза климатических изменений.

Потепление не всегда связано с параллельным иссушением климата. В период климатического оптимума голоцена, начавшегося 5.5 тыс. лет назад, в течение тысячи и более лет потеплению в средних и высоких широтах Северного полушария сопутствовало увлажнение климата. Это и позволило в то время широко расселиться темнохвойным породам, потеснившим за счет своей теневыносливости сосну, березу и лиственницу. На коротких интервалах времени не удастся пока, к сожалению, найти достоверную корреляцию между потеплением и увлажнением, и это одна из трудных задач для климатологов, занимающихся прогнозом природных режимов на XXI в. Мы же на многих примерах попытались показать, что для судьбы бореальных лесов значительно более важным, чем собственно повышение температуры, будет режим увлажнения — соотношение тепла и влаги.

\* \* \*

Первые результаты компьютерного прогнозирования ди-

намики лесного покрова обнадеживают, хотя нерешенных проблем остается немало. Не ясно до конца, какие из природных и антропогенных факторов будут управлять сменами наземных экосистем в недалеком будущем. Благодаря долгой жизни каждого поколения деревьев состав лесов консервативен и инерционен, они дольше других экосистем реагируют на климатическое воздействие. Поэтому несколько десятилетий для них могут пройти без заметных изменений состава, если только не произойдет катастрофа, например сильный пожар или массовое нашествие вредителей леса.

Таким образом, если сценарии, предложенные климатологами, начнут сбываться, то сибирские ландшафты окажутся иными, чем в XX в. Но сдвига растительных зон скорее всего мы не увидим ни к началу, ни к концу наступившего века. Возможно, по космическим снимкам разных лет удастся заметить продвижение леса на север или вверх на границе с горной тундрой, но это будет не смена зон, а скорее изменения в структуре экосистем. Процесс замещения таких биомов, как тундра, тайга, степь со свойственными им биотой и почвенным покровом, длится многие века. Многие компоненты лесных экосистем просто не успеют подстроиться к изменившемуся климату. Не созреет и почвенный покров, требующий гораздо больше времени на перестройку, чем древесный ярус, напочвенный покров, подлесок.

Что касается нынешних экосистем (и сообществ), формирующих современный естественный покров, то они неизбежно будут меняться — в зависимости от многих факторов, и в том числе от климата. Трансформации подвергнется каждый компонент ландшафта и каждый его структурный элемент. А в итоге покров перейдет в новое

квазиравновесное состояние, скорее всего отличное от каких-либо аналогов, существовавших в прошлом.

Биоклиматические модели — первый шаг к пониманию того, куда будет направлен ход смен растительности или, иначе говоря, лесная сукцессия. Прогноз на основе таких моделей — один из важных начальных этапов, создающий базу для всех последую-

щих и перехода к моделям более детального уровня. Далее имеет смысл подключать почвенные, антропогенные факторы, расширяя информационную базу конкретных региональных моделей. Очень перспективным, на наш взгляд, для горных условий будет моделирование лесного покрова с учетом высотной поясности и устройство лесов на базе экологических выде-

лов: для них можно рассчитать лесорастительный потенциал и определять оптимальный путь его использования с учетом экологической и экономической целесообразности. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 97-04-49072 и 00-04-48608.**

## Литература

1. *Prentis C., Cramer W., Harrison S.P. et al.* // J. Biogeogr. 1992. V.19. P.117—134.
2. Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири/ Под ред. С.В.Маркина. Новосибирск, 2000.
3. *Кошкарлова В.Л.* Семенные флоры торфяников Средней Сибири. Новосибирск, 1988.
4. *Назимова Д.И., Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М.* Климатическая ординация лесорастительных зон и высотных поясов как основа для обобщенной классификации лесного покрова // Междунар. симпозиум «Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие». Архангельск, 16—20 июля 1990. М., 1990. Ч.V. С.49—62.
5. *Назимова Д.И.* // Ботан. исслед. в Сибири. Красноярск, 1994. Вып.2. С.61—72.
6. *Tchebakova N.M., Monserud R.A., Nazimova D.I.* // Canad. Journ. of Forest Research. 1995. №4. P.24—28.
7. *Tchebakova N.M., Monserud R.A., Leemans R., Nazimova D.I.* Possible vegetation shifts in Siberia under climatic change // Impacts of climate change on ecosystems and species / Eds R.Leemans, D.Elder and S.Humphrey. Geneva, 1995. P.67—82.
8. *Назимова Д.И., Поликарпов Н.П., Сухинин А.И., Федотова Е.В., Харук В.И.* // География и природ. ресурсы. 2000. №4. С.117—123.
9. *Назимова Д.И., Ноженкова Л.Ф., Поликарпов Н.П.* Биоклиматические модели и их применение для прогноза трансформаций лесного покрова Сибири. Красноярск, 1998. Препринт.
10. *Горбань А.Н., Россиев Д.А.* Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск, 1996.

## Дорогие читатели!

Подписывайтесь на «Природу» в редакции журнала! Это обойдется вам намного дешевле. Цена льготной подписки ( в редакции ) на II полугодие 2001 года – 40 руб. за номер или 240 руб. за полугодие. Иногородние могут выслать деньги за подписку почтовым переводом до 15 мая 2001 года, добавив стоимость пересылки шести бандеролей весом 200 г.

Наш адрес: 119991 Москва ГСП-1, Мароковский пер., 26, «Природа», Александровой Ирине Филипповне (тел. 095-238-24-56).



# Царь Эвдиалит и его династия

## Минералогическая сказка

Р.К.Расцветаева

Академику Николаю Васильевичу Белову  
посвящается

### От автора

Радует глаз эвдиалит малиновой, красной и розовой окраской кристаллов, их четкой огранкой и блеском. Недаром в народе его называют лопарской кровью. Но не только внешне красив этот минерал. Удивляет и восхищает гармония расположения атомов, рациональность внутреннего устройства, при котором каждому атому отведено соответствующее его размеру и заряду место. Ведь эвдиалит принадлежит к числу тех минералов, про которые говорят, что в них содержится треть таблицы Менделеева.

Конечно, не все элементы присутствуют в равных количествах: одних больше 50%, других — доли процента. Где же располагаются все эти катионы и анионы? Ответ на этот вопрос дает рентгеноструктурный анализ кристаллов. Но даже специалистам в области кристаллохимии непросто понять сложную картину сочетания полиэдров в структуре различных эвдиалитов. А что, если описать структуру, статистическое заполнение ее позиций, трансформацию полиэдров, процессы изоморфизма (замещение одних атомов дру-

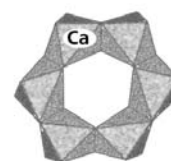
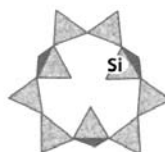


**Рамиза Кераровна Расцветаева**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН. Специалист в области структурной минералогии.

гими) и упорядочения, процедуру присвоения минералам собственных имен и многое другое не строгим научным языком, а образно, с привлечением аналогий из жизни людей? Вот как в этой сказке...

### Пролог

Эвдиалит, без сомнения, царственный минерал, и дворец он построил под стать себе: не из каких-то там кирпичей и бревен, а из ажурных конструкций — колец кремнекислородных тройных, девятых и кальциевых шестерных. И поставил их на колонны циркониевые.







Эвдиалит из Ловозерского массива Кольского п-ова. Крупные, хорошо ограненные прозрачные образцы эвдиалита – большая редкость. Слева – прозрачный кристалл размером  $6 \times 2 \text{ см}^2$  (из коллекции И.В.Пекова), справа – кристаллы (самый большой  $12 \times 8 \text{ мм}^2$ ) и зерна в эвдиалитовом лувярите (из коллекции Е.М.Менгалева).

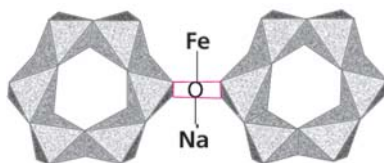
Фото Н.А.Пековой

Дворец получился великолепный и просторный. Устроил царь пир, на который пригласил полцарства (т.е. полтаблицы Менделеева). Гостям дворец очень понравился, и не захотели они оттуда уходить. Гостят себе подолгу, а если кто съедет, тотчас зовет на свое место родственников и друзей. И каждый обустроивается по своему вкусу. Залы, предназначенные для пышных балов, превратились в коммуналки, в которых и мы с вами когда-то проживали. А в коммуналках (сами знаете) всякие отношения складываются и всякие истории случаются. Вот про некоторые из них я вам и расскажу...

## Серия первая

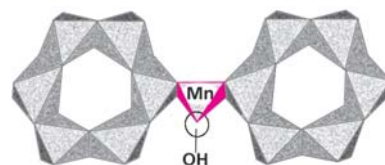
Началась эта история с железа. По какой-то причине (то ли зазевалось, то ли стройматериала не хватило) осталось оно без места. Стоит в проходе между двумя залами и растерянно оглядывается — куда податься, все занято. Да так там и осталось жить (не уходить же из дворца). И со временем привыкло. Конечно, жилище курам на смех — квад-

рат какой-то, но свои плюсы имеет: света и воздуха много, и вид на две стороны.

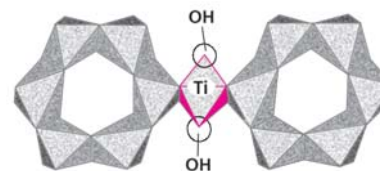


Прибегает во дворец запыхавшийся натрий и говорит: «Много тут нашего брата понабежало, деться некуда, хорошо хоть железо подсказало. Иди, говорит, в соседнюю ячейку, там такой же проход пока еще не занят». Пыхтя втиснулся натрий в середину квадрата (все четыре кислорода аж разъехались) и думает: «Временно здесь поживу, за соседями приглядывать буду, потом на кого-нибудь доносик настрочу, глядишь — квартирка и освободится».

Приходит марганец и удивляется: «Как здесь живут? Сквозняки кругом, так и на сморк можно схватить». Отступил на полшага (пол-ангстрема по-научному), замуровал квадратик, пристроил OH-группочку. Квартирка готова. Хоть и небольшая, но уютная. Все лучше, чем жить на сквозняке без окон и дверей.



Приходит титан и говорит: «Помню, как в молодости я жил в лампрофиллите в таких вот пятиэтажках (то бишь пятивершинниках), но там деваться было некуда, а здесь вон полкоридора свободно. Устрою-ка я евроремонт». Снес перегородочку, пристроил с другой стороны еще одну OH-группочку и стал жить в октаэдре, как и подобает всякому приличному титану.



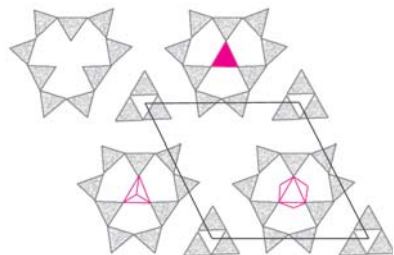
Появляется еще один натрий и размышляет: «Октаэдр... Был бы он побольше, вполне подходящее для меня жилище, да только можно устроиться и комфортнее, вон сколько еще места в коридоре». замуровал он снова стеночку, отступил на шаг (т.е. ангстрем) и дотянулся до тройной оси.

А там чего только нет: и хлор, и гидроксил, и молекулы воды. Взял, что было поближе, и пристроил к своему жилищу.

Живут все они в Эвдиалитовом дворце по разным этажам и ячейкам и дружат статистически.

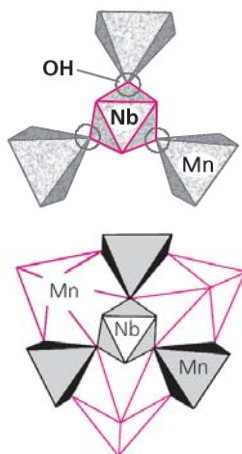
## Серия вторая

Но вот случилось татаро-марганцкое нашествие. Захватил марганец все пятивершинники во всех ячейках. Отдыхался и стал оглядываться вокруг, с соседями знакомиться. Смотрит: наверху треугольное окошечко — готовая строительная площадка в центре ажурной конструкции (9-го кольца). Видно, тепленькое местечко: кремнии толпятся, пихаются так, что их тетраэдры кувыркаются то вверх носиком, то вниз. Сплошные титаны, ниобии, цирконии тоже норовят пристроить свои октаэдры к этому окошечку.



Марганец думает: «Конечно, кремний — крепкий сосед, но уж больно несолидное у него жилище, тетраэдр какой-то. Ниобий повалентнее будет (и машина у него импортная). Сговорились три марганца и предоставили кредиты (ОН-группы) ниобию. А он и рад: строить-то ничего не надо, все уже готово — потолок кислородный, пол гидроксильный. Заходи и живи. Посмотрел марганец вниз, а там натрий проживает в просторной квартире, аж о восьми углах. Сосед тихий, скромный. Только не понравился он марганцу: уж больно одновалентно-интеллигентный. Другое дело бога-

тырь стронций да богатые купцы редкоземельные. А для компании пригласил он своего сородича марганца-бродягу, который побывал в гостях и у кальция, и у кремния. Зажили они хорошо, как одна семья. Дружат по ребрам и вершинам и даже клан образовали (кластер по-научному).



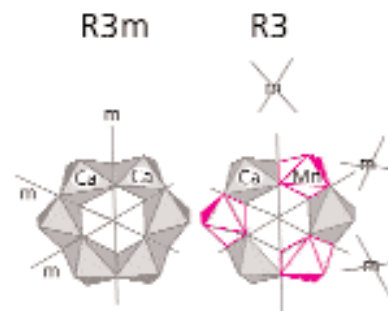
Стала эта мафия контролировать все подкольцевое пространство и терроризировать другую часть дворца, где поселился изгнанный одновалентно-интеллигентный народ. Устроили заговорщики (все тот же марганец и ниобий, попавший к нему в зависимость) дворцовый переворот. Центральная власть (центр симметрии) в отставку подала, потому что мафия все ее указы о симметризации игнорировала, из-за бугра контрабандой переправила пьезоэффект и устроила во дворце пьезоэлектрическое освещение.

Пришел минералог Йонсен, увидел все это безобразие и говорит: «Да разве это эвдиалит, это же **кентбруксит** какой-то!»

А у нас с вами, дорогие соотечественники, свой такой же дворец с пьезоэлектричеством пропадает, забытый и брошенный. **Барсановитом** называется. И с реабилитацией мы не торопимся, такой уж мы народ российский. Потому имеем мы вместо отечественного барсановита импортный кентбруксит...

## Серия третья

Вы конечно же помните, что марганец основал клан (кластер) в кентбрукситовом дворце. Думаете, он на этом успокоился? Ничуть не бывало. Задумал он новую каверзу и напал на кальций, который жил счастливо в узком семейном кругу (в шестерном кольце). Марганец бесцеремонно влез в кольцо и занял целых три октаэдра. Кольцо аж покорежилось. Зеркальную же плоскость симметрии **m** как символ равенства и братства марганец велел выбросить из дворца за ненадобностью, а фамильный герб Эвдиалитов **R3m** сменить на **R3**. Снова пришел Йонсен, покачал головой, но бесчинства марганца одобрил и новый дворец назвал **онейллитом**.



Но кальций собрался с силами, выдворил из своего семейного круга марганец и восстановил фамильный герб **R3m**. Чтобы предотвратить дальнейшие набег беспокойного соседа, кальций решил укрепить свои позиции. Уговорил он натрий пустить его на свою территорию, чтобы совместными усилиями противостоять терроризму. Интеллигентный натрий из патриотических соображений добровольно отдал свою квартиру кальцию, который тотчас ее приватизировал, присоединил к своим владениям и перегородил весь дворец Великой Кальциевой стеной, а в проходах этой стены поставил сто-

## НЕКОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОНЯТИЯ И ИХ НЕФОРМАЛЬНЫЕ ЭКВИВАЛЕНТЫ

**Дворец** –  
трехмерная атомная  
структура

**Ажурные строительные  
конструкции** –  
тройные и девятёрные  
кольца из  $\text{SiO}_4$ -  
тетраэдров  
и шестёрные кольца  
из  $\text{Ca}$ -октаэдров

**Циркониевые  
колонны** –  
 $\text{ZrO}_6$ -октаэдры

**Тепленькое местечко** –  
треугольник из атомов  
кислорода

**Семейный круг** –  
шестёрное кольцо  
из октаэдров

**Фамильный герб** –  
пространственная  
группа симметрии

**Символ равенства  
и братства** –  
плоскость симметрии  $m$

**Центральная власть** –  
центр симметрии

**Клан, мафия** –  
полиэдрический кластер

**Евроремонт** –  
трансформация  
полиэдра

рожем железо. Оно все равно без дела болталось в своем квадрате. Понравился минералогу Пекову невиданный доселе дворец-крепость, и назвал он его **фекличевитом**.

## Серия четвертая

Но случилось, что железо пошло на повышение и стало трехвалентным. А такой важной персоне неприлично жить в каком-то там квадрате, и решило оно перебраться в октаэдр, который поблизости с квадратом и построило. Пришел минералог Чуканов и назвал дворец с железными воротами **икранитом** (по месту их открытия в ИК РАН).

Тут и кальций смекнул, что от железа может быть большая польза. Например, можно сдать ему половину своих комнат. Все равно они пустуют. Некогда великий кальциевый народ разбрелся кто куда — кто в другие минералы на работы подался, а кто и вовсе за границу. И предложил кальций железу перебраться к нему в апартаменты за умеренную плату (ведь железо было двухвалентным и недостаток у него небольшой). Снова кальцию пришлось потесниться и фамильным гербом **R3m** пожертвовать (но когда приходят плохие времена, тут уж не до фамильной гордости...). А железо и радо перебраться из простого квадрата в престижный «квартал», в шикарные круглые апартаменты. Подивился минералог Чуканов такому железобетонному содружеству, но имени пока не придумал.

## Серия пятая

А тут началась новая история. Мафиози, наводившие на всех ужас, передрались друг с другом. Пошли внутренние разборки, как это у них водится. Преданный клану титан тоже взбунтовался. Надоело ему на побегушках у марганца быть, и сказал он сам себе: «Я титан или какой-то там пигмей? Хочу свое царство титаническое иметь». Вышел он на тропу войны и полностью захватил ключевые позиции во

дворце — колонны циркониевые, на которых весь дворец держится. А потом пошел еще дальше и надстроил дворец. И вот многоэтажное здание высотой 30 ангстрем превратилось в небоскреб в 60 ангстрем. Мафию титан разогнал и восстановил центральную власть (центр симметрии), объединившую оба субъекта Федерации. Пришел минералог Хомяков, залюбовался гигантским небоскребом, который держат на плечах титанические атланты и кариатиды, и дал ему имя **аллуайвит**. Вот так сепаратист титан основал самостоятельную Аллуайвитскую республику.

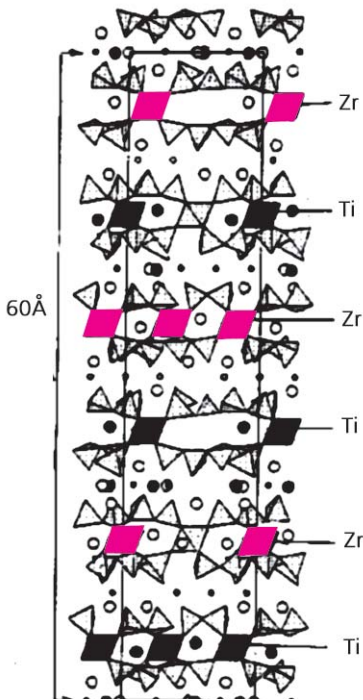
## Серия шестая

Между тем цирконий не смирился со своим поражением и начал оперативно-розыскные мероприятия против титана. В конце концов обе стороны пришли к консенсусу и поделили власть: на одном этаже стал командовать цирконий, на другом — титан. А народ бегает с этажа на этаж — меняет начальников (а заодно и товары). Нигде никакого порядка. Не жизнь, а сплошная статистика. Подивился минералог Хомяков новому «челночному» небоскребу, да так и не решил пока, какое дать ему имя.

Цирконию надоело, что все «челноками» работают. Вытеснил он остатки бандформирований титана со всех ключевых позиций и приказал каждому народу выбирать постоянное место жительства. Одновалентно-интеллигентный народ (натрий и калий) скромно разместился на нижнем этаже (модуль по-научному), а деловой народ (железо, марганец) с комфортом обустроился этажом выше, в другом модуле. Минералог Хомякову понравился такой модулярный небоскреб, где каждый живет независимо и никому не



мешает (лишь изредка ходят друг к другу в гости), и назвал он его **расцветаеваитом**. Царь Эвдиалит одобрил новую резиденцию: и минерал красивый, и имя неплохое.



## Эпилог

Вот так разрослась династия царя Эвдиалита, и укрепилось его могущество. Минералогии довольны: богатое семейство у Эвдиалита, стоит водить с ним дружбу. Отнесись к нему с любовью, вниманием и усердием, и оно откроет тебе новые тайны эвдиалитского двора. А наш сериал подошел к концу. Конечно же, это сказка, но как говорят у нас в народе: сказка ложь, да в ней намек, кристаллографам — урок. ■

**Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проект 99-05-65035.**

## Камерун неспокоен

На западе Республики Камерун возвышается одноименная с названием страны гора (4095 м над ур.м.). Это один из высочайших в Африке вулканов; его активность еще в V в. до н.э. поразила воображение знаменитого карфагенского мореплавателя Ганнона.

На склонах горы и даже в сравнительно далеких предгорьях насчитывается множество «горячих» расщелин и более сотни образованных в разное время вулканических конусов. На всем западе континента нет ни одной другой огнедышащей горы, которая извергалась бы столь часто, как Камерун. В последнее время это случилось в 1959-м, 1982-м и в марте 1999 г. Геологию, геохимию и вулканологию этого региона исследуют научные сотрудники французской нефтедобывающей компании «ELF Aquitaine».

В ночь на 28 мая 2000 г. на вершине Камеруна раздался мощный взрыв, из расщелин на высоте 3300 м вырвались языки пламени. На следующий день в административном центре провинции Буэа, расположенном к юго-востоку от горы, произошло землетрясение. Пепел и газы ветром вынесло в море (Bulletin of the Global Volcanism Network. 2000. V.25. №4. P.4. США). Группа вулканологов установила два основных центра извержения: один — на высоте 4 тыс. м непосредственно над г.Буэа (здесь близко друг к другу расположились два кратера, из которых вылетали каменные бомбы, куски шлака и облака газов); другой — на 1000 м ниже (он образован длинной расщелиной, рядом с которой — два заполненных лавой озера). Из большего озера (60×40 м<sup>2</sup>) расплавленные потоки стекали в сторону океана со скоростью более 5 м/ч. Один из огненных языков 8 июня 2000 г. оказался в 5–7 км от г.Буэа и 3 тыс. его жителей подготовились к эвакуации. Но она была отменена, так как движение лавы прекратилось и активность Камеруна пошла на спад.

## Становление эоловой энергетики

Рост цен на нефть, а также энергичные меры, принимаемые по ограничению парникового эффекта, заставляют активнее использовать энергию ветра — развивать эоловую энергетику (Science et Vie. 2000. №98. P.42. Франция).

Конструкторы считают, что ветроэнергетические установки, сооружаемые в море, на расстоянии нескольких километров от берега, гораздо эффективнее улавливают мощные ветровые потоки по сравнению с береговыми. Вынос в море ветроустановок позволяет повысить мощность генераторов от нескольких сотен киловатт до нескольких мегаватт. Наконец, монтаж установок в море снимает возражения экологов, утверждающих, что береговые сооружения своим шумом от лопастей и размерами диссонировуют с окружающей средой.

В 1970 г. морская ветроэнергетическая электростанция еще признавалась неудачной с точки зрения экологии. Однако с 90-х годов в Дании, Швеции и Нидерландах уже работают шесть показательных морских установок суммарной электрической мощностью 27 МВт. Их эффективность и надежность вызывают интерес у многих конструкторских коллективов Германии, Дании, Франции. Так, германское общество «Энеркон» работает над проектом генераторов мощностью в 4,5 МВт, приводимых во вращение двигателем с диаметром лопастей в 112 м. Около 20 таких проектов создаются для некоторых европейских стран. По материалам бюро исследований датской компании «BTM Consult», к 2003 г. мощность ветроэнергетических установок в Дании достигнет 1400 МВт. Во Франции первая установка такого рода начнет вырабатывать энергию в 2002 г. у Дюнкерка, в нескольких километрах от побережья Северного моря.



## Когда появилась жизнь в глубинах океана?

К.Н.Несис,

доктор биологических наук  
Москва

Казалось бы, тогда же, когда и в прибрежье! А вот и нет — жизнь в глубинах в десятки раз моложе! И вот почему.

Каковы условия жизни в глубинах океана? Там нет света, следовательно, нет растений — основания пирамиды жизни. Это не страшно: остатки фитопланктона, не съеденного в поверхностных водах, опускаются на дно и служат пищей глубоководным животным, особенно донным. Высокое давление животным тоже не страшно: их ткани насыщены водой, и давление как снаружи, так и изнутри тел одинаково. И низкая температура не беда, морская жизнь процветает и в Арктике, и в Антарктике. Кислород — вот в чем все дело! Он может попасть в глубины только из поверхностных слоев и только с опускающимися водами. Диффузия для этого слишком медленна, необходима конвекция, активное перемешивание верхних и нижних слоев воды!

Толща морских вод переслоена по вертикали, и каждый нижележащий слой плотнее, тяжелее вышележащего. Плотность воды зависит от температуры и солености: чем теплее, тем вода легче, чем солонее, тем плотнее. Поверхностный слой из-за речных вод и дождей всегда хоть немного, да опреснен. Но если он опреснен немного, то, охладившись зимой, может стать тяжелее всех лежащих ниже, и зимняя конвекция дойдет до самого дна. А вот если он опреснен достаточно сильно, может охладиться хоть до точки замерзания и все равно останется легче нижних. Именно это происходит в Северном Ледовитом оке-

ане, куда впадают такие великие реки, как Обь, Енисей, Лена, Маккензи. Но его соединяют с Северной Атлантикой глубокие проливы, и несущая кислород глубинная вода втекает в Ледовитый океан из Атлантики под опресненным слоем. Проливы, соединяющие с океаном Средиземное и Японское моря, мелководны, но вода Японского моря по солености близка к океанской и намного солонее Средиземного, так что жестокие зимние северные ветры способны охладить их поверхностную воду настолько, что она опустится до дна. А вот черноморская вода вдвое преснее океанической, и никакая новороссийская боря, никакие морозы не сделают ее тяжелее глубинной. Так что нет в глубинах Черного моря ни кислорода, ни высокоорганизованной жизни — только бактерии, простейшие да немногочисленные круглые черви. То же и в Балтийском море, но там раз в несколько лет бывают суровые зимы с такими сильными западными ветрами, что они буквально силой загоняют насыщенную кислородом соленую североморскую воду через Датский пролив в глубины Балтики, а с ней и появляется жизнь!

В настоящее время в Мировом океане есть только три основных района формирования богатых кислородом глубинных вод, распространяющихся вдоль дна по всему миру и несущих живительный растворенный газ: два небольших района в Северной Атлантике — западнее южной оконечности Гренландии (Лабрадорское море) и восточнее (Ирмингера течение), да в Антарктике — полосой вдоль северной границы моря Уэдделла. Даже в глубинах

северной части Тихого океана кислород не собственный — антарктический!

Но в истории нашей планеты были времена — и длительные! — когда в приполярных областях было почти так же тепло, как в тропиках. В Арктике и Антарктике шумели высокие леса и бродили стада динозавров. Большой отрезок мезозойской эры — именно такое время: влажный и теплый (парниковый) климат и высокий (намного выше, чем сейчас) уровень океана. А чем теплее вода, тем сильнее испарение, тем обильнее дожди и сток с суши. Так что поверхностные воды в те времена никак не могли ни осолониться под влиянием испарения, ни охладиться под воздействием зимних ветров настолько, чтобы погрузиться до дна, и кислород не достигал глубин. Расход же кислорода в глубинах был куда выше нынешнего, потому что промежуточные и глубинные воды Мирового океана на 10–15°C были теплее современных. Растворимость кислорода в воде с ростом температуры понижается, а скорость дыхания бактерий и животных, напротив, повышается: у донных беспозвоночных и рыб в два–два с половиной раза на каждые 10°C, а у донных бактерий — даже в четыре раза. К тому же если разница в плотности поверхностных и глубинных вод невелика, достаточно несильного ветра с берега, чтобы отогнать поверхностную воду в море. На ее место поднимутся богатые биогенными веществами глубинные воды, начнется бурное «цветение» фитопланктона, потом водоросли отомрут, опустятся на дно, там сгниют и поглотят последние остатки кислорода!

В те давние теплые времена явления дизоксии (острая нехватка кислорода в придонной воде) и аноксии (полное отсутствие кислорода) были очень частыми и глобальными. В отдельные периоды весь Мировой океан походил на нынешнее Черное море. На дне отлагались сапропели (с греч. — гнилой ил), которые со временем превратились в знакомые каждому геологу черные сланцы. Кислород мог опускаться только до того уровня, куда доходили штормовые волны, взбаламучивающие и перемешивающие воду. В теплом и влажном климате штормы были частыми и сильными — вода перемешивалась по крайней мере на глубину в сотню метров. Там и могла существовать жизнь. Не глубже!

Проверить такой сценарий взялись американские исследователи Д.Джейкобс и Д.Линдберг<sup>1</sup>. Они проанализировали последние 245 млн лет истории Земли — с начала мезозойской эры до четвертичного периода.

Сперва они нанесли на шкалу геологического времени эпизоды отложения черных сланцев, связанные с заморами. Частичные и, реже, глобальные заморы неоднократно отмечались с середины триасового периода (225 млн лет назад) до середины мелового (90.4 млн лет), причем на протяжении трех ярусов меловой эпохи (апта, альба и сеномана) — со 125 до 90 млн лет назад, т.е. в течение 35 млн лет в Атлантическом океане заморы были сплошными. А после середины мела отмечены только два небольших (не глобальных) замора: 89—87 млн лет назад и очень короткий (может быть, всего 10 тыс. лет), но действительно глобальный эпизод 55.5 млн лет назад.

Предположительно это короткое, но очень резкое потепление климата было обусловлено мощными выбросами из толщи донных осадков метановых газогидратов биогенного происхожде-

ния<sup>2</sup>. В воде газогидраты мгновенно разлагаются, выделяют метан, а это — один из важнейших газов, вызывающих парниковый эффект.

Затем Джейкобс и Линдберг нанесли на график отмеченные в ископаемой летописи периоды обитания двух массовых форм животных: одни, сохранившиеся до наших дней хейлостомные мшанки, жили на поверхности дна, а другие рыли глубокие норы в толще грунта, где с кислородом дела обстоят хуже; это были *Ophtiomorpha* — вымершие животные неясного систематического положения. Оказалось, что офиоморфы встречались в прибрежных отложениях постоянно с самого начала своего существования (нижняя юра) и до четвертичного периода, а в отложениях глубинных слоев не отмечались до позднего мела (83 млн лет назад), после чего сразу стали обычными. Хейлостомные мшанки возникли в самом конце юры и с тех пор в прибрежных отложениях пребывали постоянно, но многочисленными стали лишь во второй половине мела (87 млн лет назад). Тогда же они впервые появились в отложениях открытого моря и тоже сразу стали обычными.

Наконец, последняя проверка. Авторы проанализировали время и экологические условия первого появления в ископаемой летописи 43 отрядов донных беспозвоночных, живущих ныне либо в прибрежных водах, либо вдали от берега (на внешнем шельфе и материковом склоне), предполагая, что они возникли именно там, где живут сейчас, и тогда, когда впервые отмечены в ископаемом состоянии. За 155 млн лет с начала мезозоя (245 млн лет назад) до конца сеномана (90 млн лет) появился 31 отряд, из них в прибрежной зоне или на внутреннем шельфе — 30, а на внешнем шельфе — только один (брюхоногие моллюски *Neogastropoda*). За следующие 90 млн лет появилось 12 отрядов, из них в прибрежной

зоне и на внутреннем шельфе — пять, на внешнем шельфе — тоже пять и еще два — на материковом склоне и в близких к берегу глубоководных впадинах. Иначе говоря, до середины меловой эпохи за пределами мелководной зоны возникло 3% всех образовавшихся отрядов, а позже — 58%. Разница впечатляющая!

Следовательно, современные группы животных, обитающие на материковом склоне и глубоководном абиссальном дне, вряд ли могли появиться и расселиться на глубинах раньше чем 55 млн лет назад (самое начало эоцена) и уж во всяком случае не могли сделать этого раньше 90 млн лет назад. При частых и длительных заморах способны были выживать и процветать лишь немногочисленные мелкие виды-оппортунисты, преимущественно бактерии, простейшие и разнообразные черви. Они не могли противостоять биологической конкуренции со стороны более высокоорганизованных, однако не переносящих заморы животных, не говоря уж о том, чтобы стать родоначальниками новых, прогрессивных групп фауны. Только после прекращения глобальных заморов предки нынешних обитателей океанских глубин, находивших убежища где-то на мелководьях, смогли заселить материковый склон (батиаль) и абиссальные глубины и дать там потрясающий расцвет биологического разнообразия. (Заметим, что очень многие группы животных, типичные для больших глубин, например стебельчатые морские лилии, моллюски моноплакофоры, знаменитые вестиментиферы, могут жить даже на таких малых глубинах, как 100—200 м.)

Выходит, жизнь в глубинах океана не просто моложе, а во много десятков раз моложе жизни на мелководьях, возникшей, по последним данным, 3.5 млрд лет назад, а может быть, и 3.9 млрд. Собственно говоря, такие предположения делались и раньше, но теперь они получили надежное обоснование и точную датировку. ■

<sup>1</sup> Jacobs DK, Lindberg DR. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1998. V. 95. №16. P. 9396—9401.

<sup>2</sup> Bains S, Corfield RM, Norris RD. // Science. 1999. V. 285. №5427. P. 724—727.

# НЕЗНАКОМЫЙ КОСТИЦЫН

## Тридцать три тетради

Н.А.Сидоров

*Российский государственный архив социально-политической истории  
Москва*

**И**мя Владимира Александровича Костицына — математика, астрофизика, эколога (1883—1963) — известно лишь немногим специалистам. Как большинство ученых, которых вытолкнула за рубеж советская власть, он превратился в фигуру умолчания. И хотя его выдающиеся научные достижения теперь уже очевидны, сама незаурядная личность Костицына, его удивительная судьба окутаны туманом. Ряд историков (в их числе Н.С.Ермолаева) по крупицам складывают его мозаичный портрет, не подозревая, по-видимому, что в Российском государственном архиве социально-политической истории (Ф.71. Оп.15. Д.402) хранятся его подлинные рукописные мемуары, дневники и отрывки автобиографии. Всего 33 довольно толстые общие тетради, в которых местами вклеены фотографии. Все это создавалось без расчета на публику, а только для себя, чтобы на склоне лет убежать от одиночества. И так, перед нами вся жизнь Владимира Александровича.

Его отец, Александр Васильевич, окончил историко-филологический факультет Московского университета. Преподавал в гимназии г.Ефремова историю, русский и немецкий языки. «Он был потомком пугачевца Ивана Костицына, который проник в Оренбург, чтобы убить губернатора Клингенберга и “поднять чернь”, но был схвачен, — написал Костицын. — Мать, Ольга Васильевна, урожденная Раевская, происходила из рода Раевских, к которому принадлежал известный генерал Раевский, прославившийся в 1812 году под Смоленском и Бородиным». От матери герой нашего рассказа узнал и о «родственниках-декабристах». Возможно, это легенда, а возможно, что именно от них он перенял черты, из которых складываются бун-

тари и защитники отечества. А от отца он унаследовал ясный ум и отличную память, которые сохранил до конца жизни.

В 1894 г. Костицын поступил в гимназию, но с большой неохотой учился древним языкам. Зато приобщился к революционному движению. В гимназии появляются кружки для чтения и обсуждения литературы, быстро подпавшие под влияние марксистов. Образовалась тайная библиотека, в которой, кроме политической литературы, хранились запрещенные книги по естествознанию. Костицына несколько раз наказывали за чтение Дарвина. В библиотеку допускали лишь с 7-го класса, да и то не всех, а руководили ею самые авторитетные ученики последнего, 8-го класса. Костицын в течение года занимал этот секретный пост.

В 1902 г. он поступил в Московский университет на математическое отделение физико-математического факультета. На кафедре физики преподавали П.Н.Лебедев и Н.А.Умов, математики — Н.Е.Жуковский и С.А.Чаплыгин, механики — Н.В.Бугаев, Л.К.Лахтин, Б.К.Млодзеевский и Д.Ф.Егоров, ставший учителем Костицына. Как вспоминает Владимир Александрович, он и его товарищи увлекались также курсами В.О.Ключевского и К.А.Тимирязева. В то время в высшей школе запрещались всякие формы коллективной жизни, даже научные кружки. Попечитель учебного округа математик Некрасов «прославился» применением «математики» к доказательству необходимости охраняемых отделений, которые он именовал «социально-метеорологическими обсерваториями», а тюрьмы — «изоляторами свободы». Однако самый воздух университета казался особенным, несмотря на постоянное присутствие инспектора, субинспекторов и «педелей».

Московское математическое общество уме-

© Н.А.Сидоров





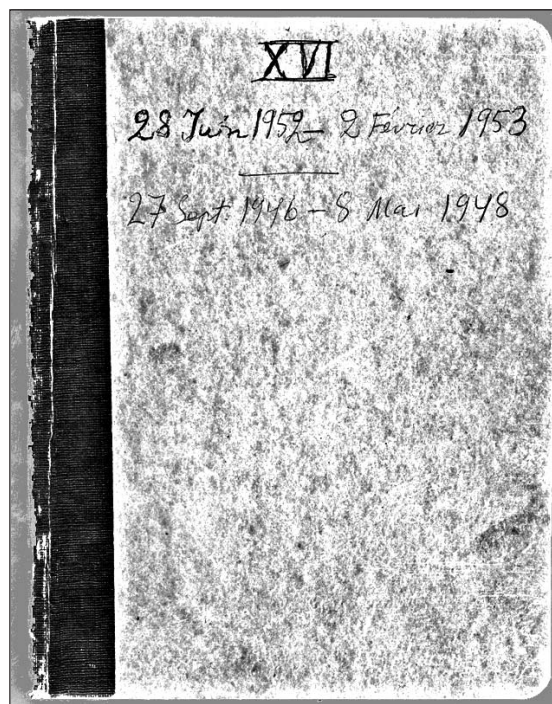
ло обходить все запреты и устраивать внеочередные заседания со студенческими докладами. Первым секретарем этих заседаний был П.А.Флоренский, а его преемниками Н.Н.Лузин и Костицын. Председательствовал Жуковский. Конечно, существовали и нелегальные кружки — марксистские, народнические и либеральные. Костицын входил в марксистский кружок пропагандистов.

В декабре 1904 г. он стал участником крупной студенческой манифестации на Страстной площади, при разгоне которой получил ранения шашкой в голову и руку. Это событие окончательно ввергло его в водоворот профессиональной революционной борьбы. После закрытия университета он уезжает в Смоленск, где вступает в местную социал-демократическую организацию. А когда возвращается в Москву, в начале сентября 1905 г., ни о какой учебе уже речи нет: идет подготовка вооруженного восстания, Костицын руководит дружинами боевиков. В конце восстания он чудом спасся, избежав расстрела на месте.

Если иметь представление о масштабе деятельности Костицына по восстановлению Московской боевой организации РСДРП в 1906 г., трудно понять, каким образом ему удалось одновременно сдать зачеты в университете и получить право сдавать государственный экзамен. На Таммерфорской конференции военных и боевых организаций РСДРП его избирают во Временное бюро этих формирований. Весной

*Владимир Александрович Костицын дома, в своем рабочем кабинете. Париж, 1947 г. Этот снимок, как и воспроизводимые на с. 73, 74, 75, был вклеен в текст мемуаров.*

*Обложка одной из тридцати трех тетрадей.*





1907 г. он выезжает по делам Бюро в Петербург, затем совершает поездку по Финляндии, но по возвращении его арестовывают, и он 17 месяцев находится в «Крестах», под следствием. За это время его исключают из университета.

Суд оправдал Костицына «за полным отсутствием улик». Однако Департамент полиции располагал в отношении своего подопечного агентурными данными и оставлять его в покое не собирался. Понимая это, Костицын в начале 1909 г. эмигрировал. В столице Австрии он вступил в «группу содействия РСДРП» (так назывались заграничные организации партии) и начал учиться в Венском университете, но затем перебрался в столицу Франции. Деятельность в очередной «группе содействия» и здесь не помешала ему посещать Сорбонну, в то время переживавшую период расцвета.

Летом 1910 г. молодой математик два месяца прожил на берегу моря в местечке Парни, неподалеку от Нанта, под одной крышей с В.И. Лениным, который перед отъездом в Краков передал ему через Н.К. Крупскую предложение войти в ЦК большевистской партии. Костицын по ряду причин отказался. В том же году появились его первые публикации в «Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris» («Отчеты заседаний Парижской академии наук»). Одновременно в московском «Математическом сборнике» вышла его статья о системах ортогональных функций.

Накануне первой мировой войны, в мае 1914 г., Костицын принял участие в работе Международного конгресса математической философии и наблюдал такую сцену. Немец, итальянец, француз и англичанин, находившиеся в президиуме, взялись за руки и заявили: «Вот наилучшая гарантия международного мира!» Когда же немцы дружно отправились завоевывать Европу, то в лагере «оборонцев» оказались даже самые ярые интернационалисты. К их числу примкнул и Костицын. В августе 1916г. Российское посольство уведомило его о мобилизации. У него была возможность влиться волонтером в ряды французской армии, но он решил возвращаться на родину.

После краткого пребывания в запасном авиационном батальоне в Гатчине Костицын был переведен на офицерские теоретические курсы авиации в Лесное. Грянувшая Февральская революция не дала спокойно сдать экзамены. В марте он активно участвовал в создании органов самоуправления в районе Лесного, наводненного возбужденными солдатами и студентами. Таврический дворец назначает Костицына временным командующим войсками в Лесном и примыкающих к финляндской границе районах. Он входит в состав социал-демократической группы «Единство», возглавляемой Г.В. Плехановым.

В августе 1917 г. Временное правительство назначило Владимира Александровича помощником комиссара Западного фронта, впрочем, из-за постоянного отсутствия самого комиссара, Н.И.Иорданского, он действовал как полноценный представитель нового правительства. Высшее командование фронта в лице генерала А.И.Деникина встретило 34-летнего Костицына прямым саботажем: попытка личного знакомства закончилась почти полным разрывом. После Корниловского выступления Костицын арестовал и Деникина, и ряд других генералов и направил А.Ф.Керенскому несколько секретных докладных записок, в которых пытался доказать, что надо, «поговорив с союзниками», демобилизовать значительную часть армии. Никакой реакции, естественно, эти послания не имели.

После Октябрьской революции Костицын выходит из плехановского «Единства», навсегда, как он пишет, прекращает партийную деятельность и идет «на советскую работу». Его назначают управляющим делами Всерокома — чрезвычайной комиссии по эвакуации, преобразованной впоследствии в Транспортно-материальный отдел ВСНХ (Трамот). В марте 1918 г. большевистское правительство само эвакуировалось из Петрограда. Оказавшись в Москве, Костицын постепенно возвращается к научной работе. Он начинает посещать библиотеку Астрофизической обсерватории Московского университета, готовит материалы для серии работ по строению звездных систем, первая из которых опубликована в 1910 г. в Париже, а последующие появились в советских научных журналах. В самом начале 1919 г. его назначают членом коллегии Научно-технического отдела ВСНХ, а в мае утверждают в должности преподавателя (доцента) математического анализа физико-математического факультета Московского университета.

Университет он получает ряд новых назначений: становится членом Государственного ученого совета, членом коллегии Научно-технического отдела Госиздата, начинает работать для Комиссии по изучению Курской магнитной аномалии. Осенью становится профессором математики в Коммунистическом университете им.Я.М.Свердлова и уходит из Трамота. В том же году Костицын с В.В.Стратоновым (позднее высланным из России на знаменитом «философском» пароходе) принимает участие в организации Астрофизического института (ныне Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга). Тогда же в Московском совете Костицын выступает с докладом о научном и просветительском значении планетария и необходимости его постройки в столице. И еще одно важное событие: в августе 1919 г. он женился на Юлии Ивановне Гринберг (1899—

1950), которая на протяжении 30 лет была его верным другом и помощником.

Летом 1920 г. Владимир Александрович становится членом Комиссии по изучению Курской магнитной аномалии в составе И.М.Губкина, П.П.Лазарева, А.Д.Архангельского и др. Он заведует магнитным отделом и вычисляет область и глубину залегания магнитных руд. Вычисления были подтверждены бурением. Впоследствии Комиссию наградили орденом Красного Знамени, а ее членам присвоили звания Героев Труда.

В начале 20-х годов при участии Костицына были созданы три института: Математики и механики, Астрофизический и Геофизический при физико-математическом факультете Московского университета, объединенных в Ассоциацию научно-исследовательских институтов. Примечательно, что академики М.А.Лаврентьев, Л.В.Келдыш, А.Н.Колмогоров, И.Г.Петровский и очень много профессоров советских вузов некогда были питомцами особенно близкого Костицыну Института математики и механики.

В мемуарах Владимира Александровича просматривается критическое отношение к правящему режиму, но с открытым протестом он выступил только однажды, в 1922 г., поддержав забастовку профессоров Московского университета и подписав петицию в Совнарком: «Когда страна разорена, обнищала, последней ее надеждой должны быть знания и наука. Школу надо было оберегать до последней крайности. Вверженная в невежество страна исторически будет отброшена на несколько столетий». Тогда власть не решилась подавить бунт профессоров силой. На обвинения в «рenegатстве» Костицын отвечал: «Ренегат тот, кто присоединяется к партии после завоевания ею власти, а я, наоборот, отдав партии годы борьбы, тюрьмы и эмиграции, не гонюсь ни за властью, ни за почетом, даю свои силы и свой труд, но хочу, чтобы это было не зря и не впустую».

Как заведующий Научным отделом Главнауки Владимир Александрович в мае 1927 г. выехал в командировку во Францию, одновременно сопровождая жену, направленную Тимирязевской академией на стажировку в Сорбонну, в Лабораторию экспериментальной морфологии. В Париже Владимир Александрович провел на два месяца больше положенного командировкой срока, за что был освобожден от занимаемой в Главнауке должности. В августе 1928 г. ему уже с трудом удалось получить разрешение на выезд во Францию «для лечения». Однако обстановка в СССР резко изменилась. Неудачи и просчеты в хозяйственном строительстве сталинская верхушка свалила на саботаж «спецов». После судебного процесса по шахтинскому делу началась открытая «охота на ведьм». На закрытом заседании коллегии Наркомпроса



С женой Юлией Ивановной. 40-е годы.

была принята характерная для тех лет резолюция: «...поручить Главнауке справиться в нашем полпредстве во Франции о политическом поведении проф. Костицына в Париже. Одновременно поручить Главнауке совместно с ГПУ проверить обстоятельства и порядок выезда проф. Костицына». Через знакомых Владимир Александрович узнал, что на родине о нем говорят как о «враге народа» и по возвращении его неминуемо ждет арест.

Так началась его эмиграция. Первое десятилетие было отмечено борьбой за существование. Научное творчество Костицына приняло новое направление: он занялся решением задач биологии математическими методами. Первая его работа в эмиграции была написана в соавторстве с женой и посвящена математико-статистическому анализу инвазии (заражения) раков-отшельников. Возникло тесное сотрудни-



Владимир Александрович с товарищем по Сопротивлению И.А.Кривошеиным. Швейцария, 1946 г.

чество с известным итальянским математиком Вито Вольтеррой. В 1938 г. вышла их совместная статья. Костицын опубликовал около двух десятков работ по эволюционной теории, естественному отбору и связи биологических и геофизических феноменов, в том числе монографии: «Симбиоз, паразитизм и эволюция» (1934), «Эволюция атмосферы, биосферы и климата» (1935), «Математическая биология» (1937; англ. пер. 1939).

Владимир Александрович установил научные контакты с ведущими французскими экологами. В 1932 г. он встречался с В.И.Вернадским, который в то время находился во Франции, и обсуждал с ним геологические проблемы, что способствовало появлению в том же году статьи Костицына «Об одном приложении дифференциальных уравнений в геологии». В 1942 г. Костицыну присудили премию Монтёна Французской академии наук.

После оккупации Парижа немецкими войсками он был заключен в Компьенский лагерь для интернированных, но через некоторое время освобожден. Принимал активное участие в движении Сопротивления. Только благодаря своей выдержке избежал ареста гестаповцами и вынужден был скрываться в провинции. После войны Владимир Александрович подал заявление в советское посольство в Париже и получил заграничный паспорт советского гражданина, однако на родину не вернулся.

В 1950 г. умерла его жена. Горечь утраты была настолько сильна, что Костицын начинает писать мемуары и дневник, вспоминая прошлое и общаясь таким способом с ушедшим из его жизни единственным на чужбине родным человеком. В 1963 г. не стало и Владимира Александровича. В соответствии с волеизъявлением покойного, его научные рукописи поступили в Пастеровский институт, книги — в Тургеневскую библиотеку в Париже. Мемуары — 33 общие тетради — советское посольство пересылает в Москву, в Институт марксизма-ленинизма при ЦК КПСС как содержащие воспоминания о революционной работе автора и его встречах с В.И.Лениным. В настоящее время, как уже говорилось, воспоминания хранятся в Российском государственном архиве социально-политической истории.

Мы публикуем небольшие выдержки из первых тетрадей. Время действия — первые годы советской власти. Место действия — Москва. Герои — ближайшее окружение Костицына, в том числе известные ученые, о которых он порой говорит нелестные слова. Но это его личное дело.

Надо предупредить читателя, что воспоминания написаны в форме разговора с женой, Юлией Ивановной. Они читаются как роман о жизни в мире науки, политики и нежной любви.



# «Говорить мне не с кем»

## Из воспоминаний В.А.Костицына

Мой французский дневник не удовлетворяет меня: страничка на каждый день едва достаточна для записи повседневной жизни и не дает возможности говорить о том, о чем хотелось бы, то есть о тебе, мое утраченное счастье, моя дорогая и верная спутница трудных дней. Мы с тобой сумели пронести сквозь тридцать лет совместной жизни нашу любовь нетронутой и незапятнанной. К тебе обращаются все мои мысли, с тобой и о тебе мне хотелось бы говорить, как мы уже говорили в последние недели твоей жизни, во время ночных бдений, когда ты боялась засыпать, а я боялся тебя оставить одну. Были ночи, когда воспоминания наши шли с момента первой встречи, а в другие ночи мы говорили о настоящем, о счастье быть еще вместе, и о будущем, так как и ты и я еще надеялись на будущее... Я хочу собрать все мои воспоминания о тебе. Говорить мне не с кем. Детали, которые мне близки и дороги, в других вызовут только скуку, а в других, даже в хороших друзьях, недоброжелательство, так как человеческая натура сложна и противоречий в ней много...

Вернуться нужно к маю 1918 года, хотя я в это время еще не знал тебя. Я приехал из Петрограда в Москву, в город, с которым в предыдущие годы был сильно связан и который очень любил. <...> Оба мы в этот момент работали в Трамоте (Транспортно-материальном отделе ВСНХ) — преемнике Всерокома, и для обоих нас это не было идеалом ни с какой точки зрения. Я занимал там высокое положение, но оно было совершенно временным выходом, навязанным ходом вещей.

Вернувшись в Москву, я старался вернуться в университет. С осени 1918 года я регулярно работал на обсерватории, собирал материал для моей работы о звездных скоплениях. Я поставил вопрос перед моими университетскими друзьями об открытии курса лекций. Д.Ф.Егоров и С.А.Чаплыгин отнеслись к этому сочувственно, и благодаря им мое желание увенчалось в конце концов успехом. Я встретил неожиданное сопротивление со стороны Николая Николаевича Лузина. Когда я заговорил с ним об этом, он мне ответил: «Да, конечно, очень хорошо было бы, если бы вы смогли возобновить ва-



*Юлия Ивановна в своей лаборатории в Сорбонне.*





Николай Николаевич Лузин.

шу научную работу, ведь сам наш народный комиссар Луначарский приглашает интеллигенцию на помощь в борьбе с мраком невежества. Святые слова!» Я ему ответил, что можно только радоваться, если призыв будет услышан, и что я со своей стороны, наследственный просвещенец, о том только и мечтаю, чтобы отдать все мои силы на помощь власти в этом направлении. И тут вдруг лицо его исказилось яростью, он заговорил в другом духе: «Как можете вы, бывший офицер, человек, умеющий владеть оружием и обладающий боевым темпераментом, добиваться спокойного места в университете, когда на юге идет борьба за счастье России против безбожников, убийц и обманщиков». Я ему весьма холодно сказал: «Если таковы ваши политические симпатии, никто вам не мешает сделать то, что вы мне советуете, тем более что и во время войны патриотом были вы, а на фронте был я». Все это не помешало ему несколько месяцев позже, когда я был избран факультетом, меня поздравить...

Здесь нужно поместить несколько эпизодов и, прежде всего, обыск у вас и арест Ивана Григорьевича\* <...> Иван Григорьевич и его друзья, такие же старые деловые люди, как и он, развлекались и утешались, собираясь поочередно друг у друга для игры в карты. Игра была тихая, «коммерческая». Ставился самовар, заготавливались бутерброды и, если удавалось достать, сладкое, и, чтобы не бродить по ночам, играли до рассвета тихо, мирно и безобидно. В вашей квар-

\* Иван Григорьевич Гринберг — отец Юлии Ивановны.

тире это происходило в столовой, а мы с тобой в этот день сидели в кабинете Ивана Григорьевича и читали. И вот часов около 10 вечера — звонок, на который я не обратил внимания, но ты сейчас же насторожилась и сказала, что происходит что-то необычное. Мы вышли в коридор и увидели, что он был полон вооруженными людьми. Человек небольшого роста в штатском, назвавшийся комиссаром ЧК Брайсом, предъявил приказ об обыске. Обыскали всю квартиру (а в ней было 10 комнат, не считая кухни и служб), открывали все шкафы и сундуки (а их было много), и комиссар говорил солдатам: «Вот посмотрите, как живет буржуазия — сколько серебра, посуды, одежды, белья и какое белье, какая посуда и какая мебель. Имели ли вы об этом понятие раньше?» В столовой он увидел карты и деньги на столе: «А вот посмотрите, чем они занимаются в наше напряженное время: там на фронте борьба, здесь холод и голод везде, но не у них. Ваши документы, граждане, но не все, а только те, что тут играли». Из документов вытекало, что все присутствующие — ответственные советские работники. «Ну, уж это из рук вон! Что за маскарад? Да и не все они тут? Где же еще один, который был в начале обыска?» А этот пропавший был Александр Александрович Г., который со свойственной ему «гибкостью» сразу приспособился помогать комиссару при обыске, и после четырех часов совместной работы комиссар уже стал его принимать за члена своего отряда. Обнаружив его, комиссар покачал головой и сказал: «Ну, теперь игроки все тут. Одевайтесь, я вас арестую». В этот момент раздалось несколько последовательных выпусков газа, что немного нарушило торжественность момента. Их увели. Я остался до утра, чтобы всех успокаивать, и как только забрезжил рассвет, я стал телефонировать по всем моим влиятельным друзьям. Результат определился довольно скоро: к 10 часам утра все были освобождены, но все начальства получили предписания объявить выговор преступным игрокам. Наш Сергей Владимирович\* объявлял выговор Ивану Григорьевичу и Александру Александровичу в такой форме: «Очень жалею, что не участвовал в игре и не присутствовал при обыске». После этого он регулярно приглашался на все последующие «заседания». Все кончилось хорошо, но за эту ночь ты и твое семейство переволновались порядком...

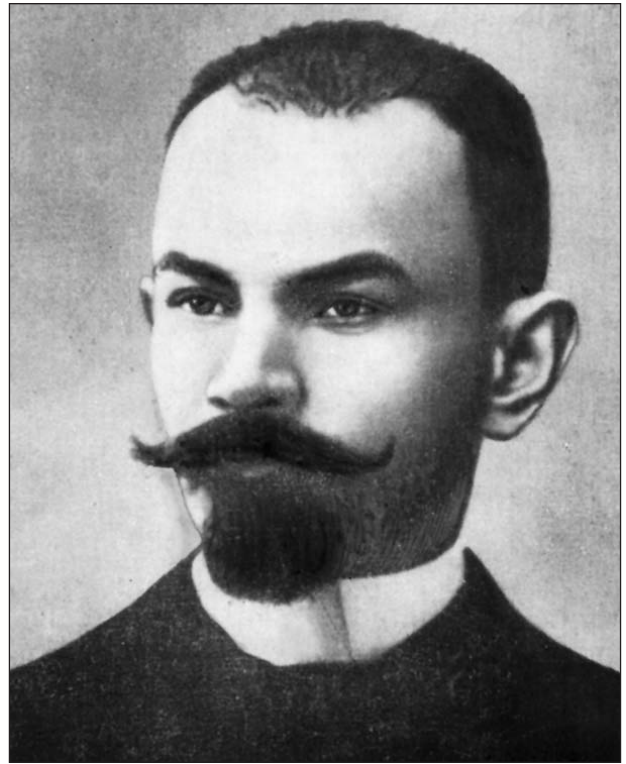
К апрелю 1919 года стали выясняться мои университетские дела. Совет факультета меня избрал преподавателем по кафедре чистой математики, но прежде чем приступить к чтению лекций нужно было еще утверждение в должности Народным комиссариатом просвещения.

\* Сергей Владимирович Громан — заместитель председателя Транспортно-материального отдела ВСНХ.

Пришло и это утверждение. Я не медлил и с начала мая стал читать мой первый университетский курс по теории специальных функций. Слушателей у меня было немного, но они были толковые и постоянные<...>

Я помню, с каким чувством я присутствовал в первый раз на факультетском собрании и с каким уважением я смотрел на моих коллег, и нужно сказать, что они заслуживали уважения. С тех пор я перевидал много научных учреждений и научных деятелей в России и за границей. До моего вступления в преподавательский состав университета у меня бывало много раз критическое отношение к русской науке и к русским ученым. В русских газетах и журналах часто утверждали, что русские диссертации списаны с немецких учебников, что профессора, достигнув положения, перестают вести научную работу, что многое делается в угоду власти...

Мои грехи зависели главным образом от того, что я учился в Сорбонне в самое блестящее время, слушал лекции Poincaré, Picard, Darboux, ученых с мировой репутацией; слушал и многих иностранных гостей, приезжавших в Париж и никогда не доезжавших до Москвы: Lorentz, Arrhenius, Volterra, Mittag-Leffler и т.д. Это ослепляло, и Москва, конечно, была более «провинциальна». Но со времени моего возвращения в Россию я знакомился с русской наукой и с русскими учеными, сравнивая, и у меня получалась совершенно иная картина. Я убеждался, что, например, наши механики Жуковский и Чаплыгин намного выше их парижских коллег, что работы Ляпунова глубже и точнее работ Poincaré на те же темы, что московская школа по теории функций с Егоровым, Лузиным, Приваловым и Хинчиным [1] не ниже парижской и, во всяком случае, живее и активнее [2], что наши астрономы и в Пулковке, и в Москве, и даже в Ташкенте делают гораздо больше интересной работы, чем все вместе взятые обсерватории некоторых стран Западной Европы. Поэтому, очутившись рядом с геологом Павловым, сравнительным анатомом Мензбиром, зоологом Северцовым, астрономом Стратоновым и моими дорогими математическими учителями-друзьями, я чувствовал, что в моей жизни наступает перелом. Я помню, как после моей первой лекции я отправился к тебе, а ты меня ждала с лаской, с любовью и с чаем; помню, как ты меня спрашивала о мельчайших деталях. Пришел и Иван Григорьевич, и разговор перешел к заграничным поездкам, к Ницце... Он вспоминал, как каждое Рождество он отрывался от всех московских дел, брал паспорт, садился в прямой поезд и через два дня видел теплое море, пальмы, прятал шубу и отправлялся гулять в пиджаке. У него все время была надежда, увы, не оправдавшаяся, что еще раз такая



*Дмитрий Федорович Егоров в молодые годы.*

поездка окажется возможной. Так мы втроем долго и дружески беседовали...

В числе событий июня 1919 года, которые определили наше будущее, нужно упомянуть мой официальный визит заместителю декана проф. Всеволоду Викторовичу Стратонову [3]. Визит ректору М.М.Новикову и декану А.Н.Реформатскому носил чисто казенный характер, но со Всеволодом Викторовичем мы сразу почувствовали друг к другу симпатию. Этому весьма способствовало то, что я был одним из немногих русских астрономов, знакомых с его работами.

Дело в том, что профессором Университета Стратонов стал очень недавно, и к нему его астрономические коллеги относились незаслуженно критически. Блажко охотно шептал, что Стратонов провалился на магистерском экзамене в Одессе. Это было верно, но вина была не его, а профессора механики Занчевского (кстати сказать — отъявленного реакционера), который из своего второстепенного для астрономов-наблюдателей предмета сделал серьезное препятствие, намеренно проваливая астрономов. Это, собственно, является его единственным правом на посмертную славу. Так продолжалось несколько лет, пока профессора астрономии не добились пересмотра программ магистерских экзаменов.



*В.В.Стратонов (сидит, четвертый слева) среди сотрудников Главной российской астрофизической обсерватории.*

Провалившись, Стратонов оставил мечты об академической карьере и превратился в астронома-наблюдателя, а впоследствии и директора на новой Ташкентской астрономической обсерватории, принадлежавшей Военному министерству. В Ташкенте он развернул исключительно по размаху и энергии деятельность. Он опубликовал в течение десяти лет большое количество первоклассных мемуаров по вопросу о строении звездной системы, о деятельности Солнца, о строении некоторых звездных куч, о переменных звездах по собственным наблюдениям. Эти мемуары печатались на французском языке и быстро доставили ему широкую известность за границей. Военное ведомство проявляло большой либерализм и давало средства щедрее, чем Народное просвещение. Правда, как-то при посещении Обсерватории военным министром Куропаткиным обратили внимание на французский язык, и министр сказал Стратонову: «В общем, я ничего не имею против, но все-таки подумайте, если бы какой-нибудь офицер захотел почитать, что такое вы печатаете, он не мог бы этого сделать из-за языка. Печатайте же что-нибудь и по-русски».

Не знаю, как вышел бы Стратонов из этого положения; может быть, он добился бы новых кредитов, но с ним произошла беда: глаза его не выдержали наблюдательной работы, и ему уг-

рожала слепота. Пришлось бросить обсерваторию и научную деятельность и взять место директора отделения Государственного банка в Твери. Там он пробыл несколько лет и, будучи не в силах расстаться с астрономией, выпустил несколько популярных книжек. Кажется, это было признано не соответствующим достоинству директора банка, и он был принужден покинуть Тверь. В этот момент он получил предложение наместника на Кавказе Воронцова-Дашкова занять должность правителя Канцелярии, иначе говоря «председателя совета министров» или вице-короля, каковым фактически являлся Воронцов-Дашков. Здесь Стратонов проявил широкую деятельность, стремясь увеличить грамотность, благосостояние, расширить дорожную сеть, улучшить хозяйство. Вместе с тем он продолжал писать и печатать астрономические популярные книги и, в частности, выпустил с невероятной роскошью огромную монографию о Солнце. Либерализм и астрономия его погубили, и с уходом Воронцова-Дашкова с Кавказа Стратонову пришлось снова стать директором банка в Ржеве. Там он выпустил менее роскошную, но солидную монографию о звездной Вселенной. Пришла революция, банки закрылись, но для Стратонова открылся доступ в Университет: он поставил свою кандидатуру в профессора астрономии, был из-



бран, стал читать курс общей астрономии, а факультет, почувствовав в нем человека с большим административным опытом, избрал его помощником декана. Профессора астрономии на него косились, распространяли о нем сплетни, он это знал, и потому ему было вдвойне приятно, когда я ему сообщил, что в Париже говорят о его работах с уважением. Он сейчас же меня спросил, что я думаю о пулковской астрофизике. Я ему ответил, что там ряд почтенных людей сделал много интересных работ, но что для современной астрофизики Пулково слишком бедно оборудовано и устарело. «Неправда ли?» — сказал он с живостью и сейчас же мне показал свой проект организации на юге, преимущественно в горах, большой астрофизической обсерватории. Узнав, что я член Государственного ученого совета, он попросил меня оказать содействие при прохождении этого дела в ГУС, что я ему охотно обещал.

Я возобновил еще одно знакомство, также имевшее некоторое значение для будущего. Я имею в виду Петра Петровича Лазарева. Первое знакомство у нас состоялось еще в 1904 году на студенческой скамье в Университете. Я был третьекурсником, а он, уже врач, был принят на третий курс, чтобы в течение года подготовиться к государственному экзамену. Меня ему представили как  *sujet d'élite* , что ему не очень понравилось, так как всегда и везде он первым считал себя, и наше знакомство далеко не продвинулось. Об его дальнейших успехах я читал в газетах, о том, что он лучший ученик Лебедева, об его уходе из Университета в 1911 году вместе с другими физиками после отставки Лебедева, об организации на собранные по подписке средства Физического института, в котором должны были найти приют все ушедшие из Университета физики. С большим удивлением я прочитал в «Русском слове» статью Климента Аркадьевича Тимирязева о ловкости рук Лазарева, который сумел остаться в построенном институте единственным хозяином и не дал места для работы ни одному из своих товарищей.

Вернувшись из-за границы в 1916 году, я познакомился с Лазаревым, по совету Н.Н.Лузина, для беседы об одном физическом вопросе, который интересовал в разных аспектах и меня и его. Из свидания, конечно, ничего не вышло. И вот теперь, в 1919 году летом, мне пришлось снова побывать у него для беседы по вопросу о Курской магнитной аномалии, которой интересовался Наркомпрос. На этот раз П.П. был любезнее и даже предложил мне участвовать в математической разработке наблюдений, указав, что именно его интересует, но совершенно отказался от разговоров в ведомственном плане, находя, что от Наркомпроса ничего



*Петр Петрович Лазарев.*

хорошего ждать нельзя. Действительно, Наркомпрос был беден, а на дверях Физического института (правильное название — Институт физики и биофизики. — *Н.С.*) были вывески: «Н.К. по военным делам — Высшая школа военной маскировки», «ВСНХ — Главное управление горной промышленности — Лаборатория», «НК здравоохранения — Рентгенологический институт» и т.д.

Во время этого моего визита П.П. охотно показал мне Институт — прекрасно построенное здание, но производимой работы я не видел. По пути он провел меня мимо решетки из деревянных планок, где на каждом перекрестке была прикреплена проволокой картонная трубочка, и на мой вопрос он мне объяснил, что это модель кристалла и что каждая трубочка означает молекулу. Во время моего следующего визита он водил по Институту представителей Наркомздрава, и тут уже решетка с трубочками оказалась моделью нервной ткани, а картонные трубочки выражали нервные клетки.



Когда я рассказал об этом Тимирязеву, он засмеялся и в свою очередь рассказал мне о том, как Лазарев получил от банкира Маркса деньги на рентгенологическую лабораторию. У него не было ни приборов, ни работников, ни работы, но он объехал все московские лаборатории и занял все приборы, какие могли ему дать, якобы для выполнения спешного военного задания. Он расставил приборы в одной из пустовавших зал Института и к приезду Маркса засадил за приборы своих студентов. Затем, проведя Маркса по Институту, он усадил его в своей магнитной лаборатории и приступил к «эффектному» опыту: он накалил кварцевую пробирку (тогда — большая новость), бросил ее в ледяную воду и сказал: «Видите, она не лопнула». Пораженный Маркс с этим согласился. «Так вот, — продолжал Лазарев, — нам для организации всех работ, которые вы видели, нужно 30 тысяч рублей», — и немедленно их получил.

На следующий день он вернул приборы владельцам, а еще через несколько дней он открыл в Институте с большой помпой и к общему удивлению настоящую рентгенологическую лабораторию. Так вот с этим гангстером мне пришлось работать по разным ведомствам в течение нескольких лет...

Я упомянул уже несколько раз Тимирязева. Тимирязев-сын — физик, ученик Лебедева, оказался очень хорошим товарищем по работе в Госиздате\* и как-то пригласил меня к себе, и тогда я имел счастье встретиться с его отцом, которого уважала вся Россия, а студенты боготворили. Не мне говорить о его научных заслугах. От ботаники в то время мы, математики, были очень далеко, и никогда бы мне не

\* Позднее А.К.Тимирязев сделал партийно-философскую карьеру на фронте воинствующего материализма. См. [3].

пришло в голову, что я впоследствии стану специалистом по математической биологии. То, что нас привлекало в Тимирязеве, — это благородная смелость в борьбе против несправедливостей и против преступного режима. Тимирязев никогда не молчал и никогда ничего не замалчивал, и голос его раздавался смело и открыто. Его статьи в «Русских ведомостях» — либеральной, но не революционной газете — были шедевром искусства сказать, что нужно, не употребляя громких слов. Он много печатал воспоминаний о зарубежных поездках, о встречах с крупными учеными, и каждая его статья была гораздо дальше своего непосредственного сюжета...

Супружеская пара — Климент Аркадьевич и его жена — представляла очень трогательное зрелище, какое для постороннего глаза, вероятно, представляли и мы с тобой, а именно любви и дружбы бережно хранимой на протяжении десятков лет, полной солидарности и взаимной поддержки перед внешним миром. Я был принят чрезвычайно ласково, и мы много говорили о текущем моменте, далеко не во всем оказываясь солидарными, но и не очень расходясь. Главная разница была в оценке университетской профессуры, к которой он относился подозрительно, и не без основания, и главное сходство — в совершенно отрицательном отношении к Академии наук и в полном недоверии к ее чиновничьей покорности по отношению к советской власти. «Эти штукари, — говорил он, — рады подоить любую коровку; надеюсь, что власть не поддастся на эту удочку...»

© Публикация Н.А.Сидорова  
Окончание в следующем номере.

## Литература

1. См. об этом: Демидов С.С. До и после Лузитании (Из истории научных школ) // Природа. 1997. №9. С.98—110.
2. См.: Бронштэн В.А. Изгнание В.В.Стратонова // Природа. 1991. №1. С.124—128.
3. Горелик Г.Е. Три марксизма в советской физике 80-х годов // Природа. 1993. №1. С.86—94.

# Компьютерные байтки

А.А.Расторгуев  
Дубна

## Левша в XX веке

Когда генеральный государь наш Леонид Ильич договор в Америке подписал, захотелось ему по штатам поездить, разные чудеса посмотреть. А при нем референт был, который сильно по народному хозяйству сучал и звал генерального домой. Американе про это знали и приготовили разные хитрости. У них как раз двое молодых людей сбежали из фирмы «Техас инструмент» и построили в гараже микропрофессорную диковину. Въезжает наш государь в Силиконную долину, а ему на блюде соринку подносят.

— Что это? — спрашивает государь ласково.

— А это, — говорят, — палата, а на ней центральный профессор и азу напылены.

— Этак-то и у нас в лабалатории пылить могут! — насупился референт.

Государь дернул его за рукав: не порть, мол, мне политики! И по бумажке прочитал:

— Благодарю от имени советского народа.

Американе видят такое дело, сориночку положили в золотую табакерку и отнесли в подарок дорогому гостю.

Вернулись домой, референт повез подарок в лабалаторию.

— Чтобы точно такую сделать! — сказал довольно сурово.

— Точно такую сделаем, даже точнее, — ответили анжинеры бодро, — только в какие сроки?

— В сроки исторически сжатые!

Покумекали, рукава завернули и сладили свою палату, по-

мельче буржуйской, да на элементной базе разви того социализма. Государь прослезился на радостях, расцеловал умельцев втроекратно, да наградил их и себя орденами по этому случаю. И направил их за океан с нашей палатой, дабы утереть нос тамошним мастерам. А из экономики валюты только один поехал, да дали ему сопровождающего, чтобы за океаном не заблудился, да домой воротился.

Прилетают в Америку. Стоит Левша в небоскребе и наблюдает, как у них научно-техническая революция происходит. Обступили его братья американе и ну нахваливать — нам такие парни во как нужны, да оставайся, вместе будем революцию делать! Но Левша им отвечает с достоинством, что он русский советский человек и за длинным долларом сроду не гонялся.

Американе говорят:

— Давайте мы вам свои достижения покажем.

Стали водить его по заводам, вычислительным центрам. Левша ходит и про себя бормочет:

— Это и мы так можем... А это против нас просто отлично!

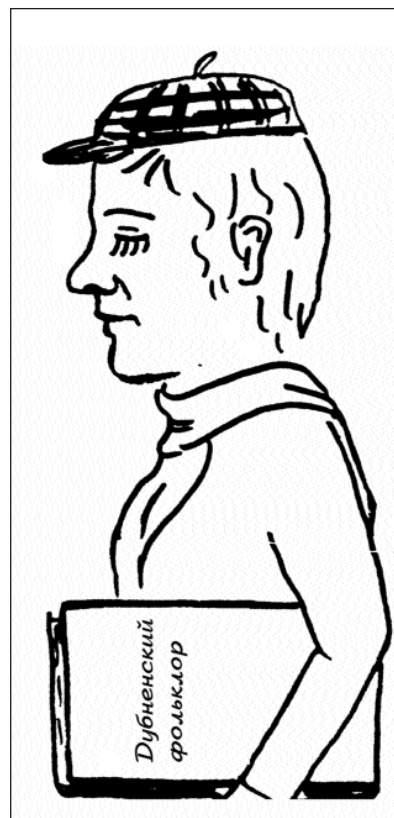
— А это, — говорят, — персональный компьютер, а это спринтер с лазерной печатью, печатает тысячу либералов в минуту...

Сопровождающий спрашивает:

— А печать у вас тоже персональная? Тогда она нам не подходит, у нас вся печать государственная!

Американе, однако, на него ноль внимания, потому как он им без надобности.

— А тут, — говорят, — делают машины для наших военных, давайте мы вам покажем!



Автор. Дружеский шарж Жениса Мусульманбекова

Сопровождающий птицей к Левше летит, шепчет жарко на ухо: «Провокация! Сейчас заведут, а там на ероплан — и...»

— Нет, — говорит, — мы устали, больше никуда не хотим.

Так и не посмотрел Левша, как американе компьютеры в оружие встраивают. Только с того момента задумчив стал, начал домой торопиться. Фирмачи видят — делать нечего. Закатали прощальный банкет в ресторане с грибами, водкой и устрицами, подарили Левше персо-

нальный компьютер да и отпустили с богом и сопровождающим.

Вернулся Левша, стал по министерствам бегать. У них, мол, уже табуретки на микропрофессорах, они уже в оружие компьютеры встраивают, пора и нам засучить рукава! Начальство ему руку жмет, обмениваться опытом возит. Хотел Левша до государства самого дойти, да тому уже не до того было, совсем уже застойные явления пошли. Так и прохлопали момент. Тем временем американе и разные японцы далеко-о по прорывам человеческой мысли вперед ушли. А послушались бы Левшу в министерствах, еще неизвестно, какой бы оборот мирное соревнование двух систем приняло бы.

## Сидоров-Сизиф

Мы жили около военного городка. Крепкие, широкоплечие мужчины шли со стороны плаца. Мальчишки пристраивались сбоку и, стараясь не отставать, шли рядом. Женщины выносили крынки с молоком. Жены, плача, обнимали мужей.

— Программисты с отладки возвращаются, — с теплотой в голосе говорил завхоз. — Слава богу, на этот раз без потерь. А бабы-то, бабы-то как радуются!

Программисты не спеша пили молоко, стряхивали капли с усов. Глядя на них, я думал, что, когда вырасту, стану, как и они, военным программистом и буду отлаживать роботов... Эта картинка осталась в моей памяти с детства. И хотя я стал гражданским программистом, с отладкой военных роботов мне все-таки однажды пришлось столкнуться. Случилось это после окончания военной кафедры, на сборах. Закончив теоретическое изучение роботов и прочих полуватоматов и их роли в современном театре военных действий, мы, во главе начальника цикла, молодежатаго и подтянутого майора Дубикова, очутились в залитой солнцем Луган-

ской области. После получения всевозможных уровней допуска и форм секретности мы вступили в расположение энской части Украинского гарнизона. Мы оставили чемоданы в палатках, поставленных к нашему приезду, и отправились на склад получать обмундирование. Мне досталась старинная амуниция образца чуть ли не конца пятидесятих годов прошлого столетия. Помимо обмундирования, каждому полагался персональный робот. Старшина в каске вел учет выданных гимнастеров, роботов и сапог. Он же проводил инструктаж.

— С роботами раньше работали? — спрашивал он каждого.

— Работал, — врал каждый.

— Верю, — понимающе кивал старшина. — Раньше работали, значит, инструктаж проходили. Круглое катить, плоское тащить... Распишитесь.

— А какие роботы? Американские? Или отечественного производства? — поинтересовался я.

— Болгарские, — ответил старшина, заполняя журнал.

— Лучше американские, — сказал я. — С винчестером!

— Ничего, перебежься, — пробурчал старшина. — Тоже мне, ворошиловский стрелок выискался. Распишись.

Я расписался. Старшина сдвинул каску на затылок и пошел за новым экземпляром в арсенал. Через открывшуюся дверь я увидел горы роботов-пехотинцев. Какого добра там только не было! Универсальные роботы и специализированные манипуляторы, старинные киберы и сверхсовременные, самовоспроизводящиеся в условиях боя автоматы Калашникова... Старшина выгреб из общей кучи робота-пехотинца марки УР-95, которую мы изучали. УР своей телевизионной камерой ел будущее начальство, то есть меня.

— Проверять будешь? — спросил старшина.

— Давайте, — с готовностью согласился я.

Общими усилиями мы выве-

ли робота на плац. Я дал команду. Робот сделал три шага, занес правую ногу и завис в самом неудобном положении.

— Ну, что у тебя? — спросил я.

— Непарные скобки, — проскрипел он. Мне вспомнился «Урфин Джюс и его деревянные солдаты».

— Вернись в исходное положение и попробуй сначала, — командовал я. — Смелее, дуболом, и я сделаю из тебя генерала!

УР покачался, сделал мягкий рестарт и бодро зашагал по плацу.

— Запевай! — командовал я.

— Неопознанный идентификатор, — на ходу ответил он.

— Ишь ты, чурка нечеловеческая! — восхитился я.

— Что такое? — спросил он.

— Не обращай внимания, салага, это комментарий. Кр-ру-у... гом!

Робот развернулся и пошел печатать шаг в обратном направлении. Я невольно залюбовался. Кличка дуболом ему явно не шла.

— Присваиваю тебе имя Сизиф, — решил я. — Понял ты, дубина стоеросовая?

— Так точно! — весело отозвался тот. — Служу Советскому Союзу!

— Жрать хочешь? — отечески поинтересовался я.

— Никак нет! — ответил Сизиф, занес правую ногу и снова завис.

— Что это тебя все под правую ногу подводит, — огорчился я.

— Ну что, берешь? — зевнул старшина.

Я посмотрел на Сизифа. Мне показалось, что он кивнул.

— Беру!

Вперемешку с курсом молодого бойца: подтягиваниями на перекладине, кроссами в жару, изучением всевозможных уставов и дежурствами на посту — мы начали отладку наших роботов. Занятия шли туго, и по воскресеньям, вместо того чтобы отдыхать душой и телом, приходилось проводить время на поле препятствий.

Отладив Сизифа в режиме непосредственного исполнения, я набрал маленькую программку и погонял его в программном режиме. Сизиф бегал на время, а я, согласно инструкции, наблюдал из специального укрытия. При очередном же заходе Сизиф, вместо того чтобы преодолеть препятствие, отшатнулся и понесся прочь, молодецки подпрыгнул на краю плаца и рухнул в лопухи благодатной Украины.

— Память исчерпана! — бодро доложил он.

Я провозился два дня, окончательно выбился из графика работ, но в итоге обнаружил ошибку в интерпретаторе визуального изображения: вид окна порождал в памяти Сизифа паразитные структуры, которые быстро забивали видеокарту, так что даже сборщику мусора не хватало памяти, чтобы начать работу. Я занес этот случай в дневник отладки, что не ускользнуло от майора Дубикова, который тестировал нас еженедельно с не меньшей силой, чем мы тестировали своих железных подопечных.

Майор вызвал меня к себе. Когда я вошел, он сидел за столом и перелистывал протоколы.

— Курсант Лкедов по вашему приказанию явился! — бодро отрапортовал я.

— Прибыл, товарищ курсант, прибыл. Являются только привидения, — весело поправил майор. — Садитесь. Я вижу, все скобки парные, идентификаторы опознаны. Готов Сизиф к выполнению воинского долга? Не подведет на испытаниях?

— Так точно, товарищ майор, не подведет! — подтвердил я, стараясь сесть так, чтобы влажный воротничок не бросался в глаза: каждый вечер я его намыливал и чистил зубной щеткой вместо того, чтобы нашивать новый (это экономило минут десять).

Приемные испытания прошли успешно. По какому-то наитию я дополнил стандартное программное обеспечение мо-



Рисунок С.А.Расторгуева.

дулем пения, и, когда Сизиф прошел мимо штаба полка, распевая: «Не плачь, девчо-онка...», — у генерала, говорят, дрогнуло лицо.

Мной остались довольны. Майор Дубиков долго жал мне руку:

— С песнями это вы удачно... Товарищу генералу это, знаете, очень...

(Он, правда, не подозревал, что в подпрограмме солдатской смекалки я в качестве развлечения предусмотрел уход в самоволку.)

— Да, кстати. А Сизиф — это у вас не очень. Вы эту фамилию замените, — сказал майор. — Пусть будет... Ну, хотя бы — рядовой Сидоров! А? — и он с надеждой посмотрел на меня.

— Душевно, товарищ майор, — похвалил я.

— Ну вот и хорошо! — сказал он, занося фамилию новобранца в список. — Да, кстати... Бывший военный атташе, генерал-полковник Лкедов Юрий Иванович — это не ваш родственник?

— Это мой дядя, — краснея, признался я...

— Ну тогда мы его, пожалуй, сразу сержантом, — воодушевился майор Дубиков.

А я вдруг понял, что эти полтора месяца были для меня сов-

сем не в тягость. Это была встреча с детством, и вот она закончилась, и неизвестно, состоится ли еще. Я смотрел на них, Дубикова и Сизифа, и мне было бесконечно жаль расставаться с этими дорогими и в чем-то очень похожими друг на друга существами.

## Через три поколения

Манипулятор ИБР-2М работал на автомобильном конвейере. Это был робот первого поколения, но его трехпалая и единственная рука была в своем роде произведением инженерного искусства.

Рядом трудились коллеги. На стене висел плакат: «Нынешнее поколение роботов будет жить!» Но его действительность сильно снижалась тем, что роботы первого поколения были слепы, а роботы второго, наделенные телекамерами, не умели читать. Они не умели играть в шахматы, вывести теоремы, им не даны были искусство умозаключений и радость музыкального творчества, но именно руками-манипуляторами таких, как они, в мире собирались автомобили, бурились нефтяные скважины под водой, очищались



от радиоактивных отходов атомные электростанции и обезвреживались бомбы, подложенные террористами.

ИБР-2М пришел в автомобильную промышленность давно и сразу же был поставлен на конвейер. Он никогда не задавался вопросом, что это за автомобили, зачем они нужны и нужны ли вообще, ибо не обладал ни человеческим здравым смыслом, ни искусственным интеллектом. Да и нужен ли интеллект для работы на конвейере?

Однажды конвейер остановился. Роботы второго поколения, заметив это, тоже остановились, а ИБР-2М, лишенный машинного зрения, продолжал работать. Раз! — и его пальцы схватили пустоту. Два! — рука-манипулятор потянулась за невидимым крылом автомобиля. Три! — началась сварка воздушного пространства...

Это был забавный эпизод, и он должен был запомниться, но он не запомнился. И не потому, что ИБР-2М не имел памяти, память у него была, но ограниченная и вся уходила на программу действий, которую надо было постоянно там держать, чтобы не сбиться в порядке операций и ничего не упустить.

Когда модернизировали производство, ИБР-2М ни о чем не спросили, никто ему ничего не объяснил. Да он бы ничего и не ответил, потому что не имел синтезатора речи. Да и что он мог сказать? Ведь он не обладал ни человеческим разумом, ни искусственным интеллектом — и не мог делать умозаключений. Да и нужно ли искусство умозаключений для работы на конвейере? Правда, ИБР-2М обладал памятью, но сильно ограниченной, и держал в ней только программу действий.

Когда ИБР-2М очутился за воротами предприятия, он даже не пытался ничего предпринимать. Да и что он мог предпринять? Ведь у него отсутствовала программа принятия решений. Даже роботы второго поколения, которым дано было видеть многокрасочность мира, ощущать теплоту металла и упругость резины, даже роботы третьего поколения, способные не только ощущать, но и делать выводы, — даже они были бы тут бессильны. Даже у людей для того, чтобы наступило время решительных действий, должно смениться три поколения... И что бы где-то далеко на Западе уже работало четвертое поколение.

...Интеллектуальный сканер пятого поколения пробежал последние строчки и слегка моргнув лампочкой, словно стараясь смахнуть обыкновенную человеческую слезу.

## Дубненский фольклор

*Шурик, герой «Кавказской пленницы», ездил собирать фольклор на Кавказ. А нет, чтобы проскакать на своем осле каких-нибудь 125 км по Дмитровскому шоссе! Тут, в предместьях синхрофазотрона, когда-то самого мощного ускорителя Европы, — и Кавказ, и Средняя Азия, и Украина, и Дальний Восток, и наше родное Нечерноземье. В марте Объединенному институту ядерных исследований исполнилось 45 лет. Мы надеемся, что его сотрудники еще не раз порадуют нас — и серьезными открытиями, и веселыми историями.*

### Из коллекции А.А.Расторгуева

#### Люди, где вы?

Первый директор ОИЯИ Блохинцев звонит на ускоритель в корпус № 1:

- Кто у телефона?
- Прибор.
- А кто там еще?
- Медведь.
- А люди есть?

#### Кушают спортсмены

Академика Боголюбова однажды не пустили в ресторан «Дубна».

— Мест нет, — объяснил швейцар. — Кушают спортсмены.

Эта фраза в Дубне стала крылатой.

## Люди в смокингах

Когда Векслера и его ученика Саранцева пригласили на международный вечер, выяснилось, что у них нет приличных костюмов. Им выдали по смокингу. На вечере подходит человек в таком же смокинге и шепчет:

— Шеф сказал: икру не есть.

## Звездный академик

Не узнали однажды и академика Понтекорво. Представьте себе: Алушта, вторая половина 50-х годов, Бруно Максимович выходит из воды и видит направленный на него автомат. На вопрос, кто он такой, этот человек с нерусским лицом и заграничным аквалангом за спиной отвечает: «Я звездный академик». Ему тут же делают «лебедку» и ведут в камеру предварительного заключения погранвойск...

Когда информация о задержании Понтекорво дошла до Москвы, оттуда посыпались нагоняи, закончившиеся на парне с автоматом. 12 часов Понтекорво просидел на баланде. Он потом этим воспоминанием дорожил.

## Воспоминание о Кюри

Как-то Флеров рассказывал что-то из физики тяжелых ионов. Николай Николаевич задремал, продолжая смотреть сквозь дымчатые очки на Флерова. И вдруг Георгий Николаевич произнес: «Кюри». Николай Николаевич оживился:

— О, Кюри! — и стал вспоминать, как встречался с Жюлио-Кюри в 50-х годах в Париже.

Георгий Николаевич окаменел, затем молча встал и молча вышел из кабинета. Все-таки они оба были академики.

## Взрывающийся чайник

Как-то раз Георгий Николаевич вызвал к себе одного из старых сотрудников, чтобы посидеть в неофициальной обстановке, скоротать рабочий вечерок. «Садитесь... Воткните, пожалуйста, штепсель в розетку, сейчас мы с вами попьем чаю...» И начинает разговор по душам: как дела, почему не защищаетесь, какие проблемы. Через пять минут чайник взрывается. «Что случилось?!» — «Здесь нет воды». — «Что же вы не налили?» — «Но вы же не сказали...»

## Трудный язык

В 60-е годы в ОИЯИ работали кореец Ом Сан Ха и поляк Анджей Чилак.

— Ом, у вас есть капиталисты? — спросил как-то Анджей.

— Были... До революции, — напустился Ом.

— А что с ними сделали?

— Кого убили, кто за границу уехал, — нехотя ответил Ом.

Поляк погрузился в размышления.

— Я понял, кто ты, Ом! Ты — капиталист.

— Почему?! — запротестовал Ом.

— Потому что ты за границей.

— Я тебя не понимаю... Такой трудный русский язык!

## Польские трамвайчики

— Ом, вот ты пишешь программу, посылаешь данные в первую ячейку, вторую, третью, а ведь там ничего нет, — сказал Чилак.

— Как это?

— Нумерация ячеек в машине начинается со ста.

— Но почему?!

— Я приведу пример. У нас в Варшаве популярны трамвайчики. Правительство



Рисунок С.А.Расторгуева.

заметило, что при столкновении трудящиеся первого вагона страдают больше, чем второго, и отменило первые вагоны. Сложилась напряженная обстановка на транспорте. Правительство подцепило третий вагон. Теперь стали больше страдать трудящиеся вторых вагонов. Так продолжалось много раз, и теперь нумерация вагонов начинается со ста.

— Я не понимаю, ты правду говоришь или шутишь?

— Понимаешь, Ом...

## Какая цель?

— Простите, я опоздал... Какая тема доклада?

— Анализ фортранных текстов.

— Так, а с какой целью?

— С целью публикации!

## Хорошенького помаленьку

Засидевшись на работе, стали травить политические анекдоты. Вдруг — звонок. Все переглянулись. Время разбрасывать анекдоты, и время их собирать... Старший по званию (доктор наук) твердой рукой снял трубку:

— Да?

— Кончайте болтать! — энергично распорядились на другом конце провода и дали отбой.

Последуем и мы их примеру. ■

# Новости науки

## Космические исследования

### В ближайшей перспективе — два марсохода

Руководство Национального агентства США по аэронавтике и космическим исследованиям (НАСА) приняло решение, согласно которому в первые годы XXI в. на Марс должны быть высажены два самоходных аппарата, а не один, как планировалось ранее. Основные операции намечены на 2003 г., когда взаимное расположение Земли и Красной планеты будет особенно выгодным (затем такое не повторится до 2018 г.).

Посадочное устройство обоих марсоходов аналогично тому, которым был снабжен знаменитый «Патфайндер» («Следопыт»), исследовавший Марс в 1997 г. Однако новые будут способны значительно дальше уходить от места посадки, чем их предшественник: ежесуточно они смогут перемещаться на 100 м, что примерно равно расстоянию, которое «Патфайндер» сделал за все время своей активной «жизни».

На борту аппаратов разместятся новые научные приборы, включая оборудование с микроскопом для анализа горных пород, устройство, соскребающее верхний слой образца, несколько спектрометров и др. В числе поставленных задач — определение роли, которую в формировании поверхности Красной планеты играла вода.

Однако все эти планы на сегодня встречаются с серьезными финансовыми затруднениями. Общая стоимость программы «Два марсохода» оценивается в 600 млн амер. долл., что на 200 млн превышает прежние ассигнования. Правительство США пока что отказывается НАСА в необходимом финансировании, считая, что общий годичный бюджет 2001 г. (2 млрд долл.) увеличен быть не может. Не исключено, что средства на реализа-

цию новой программы придется выделять за счет сокращения или откладывания других космических проектов, не столь жестко связанных с временным окном.

Science. 2000. V.289. №5482. P.1119 (США).

## Астрофизика

### Солнечный максимум в самом разгаре

Пик солнечной активности в очередном 11-летнем цикле ученые прогнозировали на лето 2000 г., но его максимум оказался слабее, чем ожидалось. Специалисты, правда, не исключают, что истинный максимум цикла еще впереди. Дело в том, что в действительности этот пик более напоминает плато и может растянуться на многие месяцы, каждый час грозя обострением космической непогоды. Например, пик предыдущего солнечного цикла (по числу солнечных пятен) наблюдался в июле 1989 г., но четыре месяца спустя был второй пик, лишь немного уступавший первому. Именно на второй пик — ноябрь 1989 г. — пришелся всплеск солнечной активности, который вывел из строя систему электроснабжения в Канаде и на северо-востоке США, на девять часов оставив 6 млн человек без электричества. Менее значительные проявления солнечной активности во время предыдущего максимума наблюдались еще даже в июле 1991 г.

Продлится ли максимум и на этот раз в течение двух лет, или же солнечная активность уже пошла на спад? Четкого ответа у специалистов пока нет, но они уверены, что космическая погода готовит немало сюрпризов. Рекордов нынешний максимум пока не побил, но и к слабым его отнести нельзя. Самым заметным событием остается геомагнитная буря 15 июля 2000 г., которой предшествовало мощное 40-минутное выделение энергии 14 июля в центре диска Солнца, сопровождавшееся силь-

ным корональным выбросом плазмы. Через несколько десятков часов облако заряженных частиц достигло Земли, вызвав полярные сияния даже на средних широтах, в том числе на широте Москвы.

Магнитная буря бушевала почти девять часов. Крупных проблем на Земле она не вызвала, отмечено лишь несколько относительно небольших перерывов в радиосвязи и незначительных сбоев в электроснабжении. В космосе последствия оказались более серьезными. Из-за бури на несколько часов существенно упала точность глобальной навигационной системы GPS. На некоторых спутниках временно перестали действовать навигационные приборы.

Для японской космической обсерватории «ASCA» («Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics»), запущенной в 1993 г., июльский всплеск солнечной активности, к сожалению, оказался фатальным. Нагрев верхних слоев атмосферы привел к их расширению и повышению плотности газа на перигейной высоте обсерватории (около 440 км). Внезапно оказавшись в плотном газе, аппарат 15 июля потерял ориентацию на Солнце, из-за чего солнечные батареи перестали вырабатывать необходимую энергию. Через несколько часов иссякли запасы и в бортовых аккумуляторах. В течение некоторого времени руководители проекта надеялись, что «ASCA» удастся вернуть к жизни, но все попытки «оживить» обсерваторию оказались тщетными.

© Д.З.Вибе,

кандидат физико-математических наук  
Москва

## Астрономия

### «Двойняшки» в семье астероидов

У большинства планет Солнечной системы есть один или несколько естественных спутников, астеро-

иды же, как правило, «одиноки». Однако встречаются исключения.

В 1994 г. космический аппарат «Галилео» впервые обнаружил, что вокруг астероида Ида, чей поперечник 56 км, обращается крохотный спутник Дактиль диаметром всего 1.5 км. Его появление объясняется просто. Ида — член семейства астероидов, обращающихся вокруг Солнца примерно по близким орбитам; все они были когда-то порождены мощным столкновением их «прародительского» тела с неким иным, а Дактиль, вероятно, — всего лишь один из мелких обломков, который Ида захватила своим притяжением.

Труднее объяснить появление спутника у астероида Евгения. Он был обнаружен и назван Маленьким Принцем — в честь героя сказки А.Сент-Экзюпери. Дело в том, что Евгения — наиболее крупное тело в своем семействе (поперечник 214 км), и Маленький Принц поперечником всего 13 км должен бы, казалось, упасть на ее поверхность.

Совершенно оригинальные отношения между подобными телами недавно обнаружили американские астрономы во главе с У.Мерлайном (W.Merline; Северо-Западный институт в Боулдере), который и открыл ранее Маленького Принца. Он и его коллеги установили, что другой астероид — Антиопа — на самом деле не цельное тело, а «двойняшки» примерно одинаковых размеров, обращающиеся один вокруг другого, а точнее — вокруг общего центра масс. Такая пара открыта не впервые, но обнаруженные прежде обычно сильно различались по величине. Таким образом, вместо 120-километровой Антиопы, считавшейся единым телом, появилась пара сравнительно равных обломков, разделенных расстоянием 170 км.

Это оказалось полной неожиданностью для ученых. Специалист по небесной механике У.Боттке (W.Bottke) из того же института рискнул предположить, что в своей истории Антиопа сперва испытала множество мелких столкновений, превративших ее в рой обломков различного диаметра, а затем новый, более мощный скользящий

удар расколол крупнейший из фрагментов на два приблизительно равных по размеру, которые продолжали по инерции вращаться вокруг общего центра тяготения. Чтобы проверить эту гипотезу, предстоит сделать серьезные компьютерные расчеты.

А в сентябре 2000 г. коллектив этого института сообщил о своем новом открытии, которое стало возможным благодаря применению адаптивной оптики: она позволяет избавиться от размывания изображения, вызываемого неоднородностью и движениями земной атмосферы. Оказывается, и у астероида Пулково имеется свой маленький спутник, подробные исследования которого еще впереди.

Science. 2000. V.289. №5487. P.2023 (США).

www.aas.org/publications/baas/v32n3/dps2000/590.htm.

## Планетология

### Водяной лед на кентавре Хирон

Между Юпитером и Нептуном по орбитам вокруг Солнца движутся несколько десятков довольно крупных тел (размерами в сотни километров), похожих одновременно и на астероиды, и на ядра комет. По причине такой двойственной природы некоторые из них получили имена мифических кентавров, и представителей этой группы теперь называют кентаврами. Открытый первым, в 1977 г., самый яркий кентавр — 2060 Хирон — довольно хорошо изучен. Он окружен слабой туманной оболочкой, что характерно для комет. Спектр отражаемого Хироном света близок к солнечному, блеск изменяется с периодом около 6 ч, что вызвано вращением тела вокруг собственной оси.

Дж.Луу (J.Luu, Обсерватория г.Лейдена, Нидерланды) совместно с Д.С.Джоиттом и Ч.Трухильо (D.C.Jewitt, С.Трухильо; Институт астрономии на Гавайях, США) получили три записи спектра отражения Хирона в ближнем ИК-диапазоне (1.0—2.5 мкм). Измерения проводились дважды в 1996 г. на

спектрометре Инфракрасного телескопа Соединенного Королевства с диаметром главного зеркала 3.8 м и в 1999 г. на камере ближнего ИК-диапазона, установленной в фокусе Оптического телескопа им.Кека с диаметром главного зеркала 10 м. Расстояние Хирона от Солнца за время, прошедшее между этими наблюдениями, увеличилось с 8.45 до 9.39 астрономических единиц.

Во всех трех спектрах выявлен слабый, но отчетливый провал, вызванный поглощением на длине волны 2 мкм (глубиной около 10%). В спектре 1999 г. заметно очень слабое поглощение также вблизи 1.5 мкм. Поглощение на длине волны 2 мкм, не отмечавшееся<sup>1</sup> в спектре, полученном в 1993 г., обнаружено позднее<sup>2</sup> — в спектре 1998 г.

Поглощение на длинах волн 1.5 и 2 мкм явно свидетельствует о наличии на поверхности Хирона водяного льда. Малая глубина соответствующих понижений в спектрах отражения позволяет предположить, что лед на поверхности кентавра сильно перемешан с каменными обломками и пылью.

Обнаружение водяного льда на Хироне по ИК-спектрам, по мнению авторов, стало возможным благодаря ослаблению кометной активности этого кентавра<sup>3</sup>. В последние годы Хирон удаляется от Солнца, его температура понижается и с поверхности все слабее улетучиваются газ и мелкие частицы пыли. Пылевая оболочка Хирона становится прозрачнее, обеспечивая лучший доступ к поверхности кентавра. Это и позволило получить качественные спектры отражения и заметить в них особенности, говорящие о присутствии на поверхности водяного льда.

Ранее водяной лед был обнаружен на кентаврах 5145 Фол и 1997 CU<sub>26</sub>, а также на объекте пояса Койпера 1996 TO<sub>66</sub>. Авторы предсказывают наличие водяного льда у всех объектов пояса Койпера и объясняют неудачи в попытках его обнаружить просто слабостью их свечения

<sup>1</sup> Luu J.X. et al. // Icarus. 1994. V.109. P.133.

<sup>2</sup> Foster M.J. et al. // Ibid. 1999. V.141. P.408.

<sup>3</sup> Luu J.X., Jewitt D.C. // Astronomical J. 1990. V.100. P.913.



и соответственно низким качеством всех спектров, снимавшихся до сих пор.

Astrophysical Journal. 2000. V.531. №2. Pt.2.L151–L154 (США).

## Физика

### Первое наблюдение тау-нейтрино

В Национальной лаборатории им.Э.Ферми (Батавия, США) получено прямое экспериментальное доказательство существования тау-нейтрино. Таким образом, зарегистрирована последняя из элементарных частиц со спином 1/2, которые составляют базис Стандартной модели<sup>1</sup> строения материи.

Согласно этой модели все вокруг нас построено из 12 фундаментальных частиц — шести кварков и шести лептонов. На момент, когда формулировка модели уже представляла законченную теоретическую картину, были известны не все из необходимых частиц; существование некоторых из них предсказывалось «на кончике пера», а обнаружены они были лишь после целенаправленного поиска. Так, открытие верхнего (top) кварка, последнего в кварковом ряду, состоялось в той же лаборатории лишь сравнительно недавно, в 1995 г. И вот теперь поставлена точка в списке семейства лептонов. Оно включает три электроноподобные частицы — электрон, мюон и тау-лептон — и три ассоциированных с ними нейтрино.

Тау-лептон был открыт в 1975 г. на электрон-позитронном коллайдере SLAC (Стэнфорд, США). Чтобы органично вписаться в Стандартную модель, ему недоставало собственного партнера — тау-нейтрино. Напомним, что первые нейтрино (как потом оказалось, электронного типа) были зарегистрированы в экспериментах на реакторах еще в 1955 г. Собственно, то, что нейтрино бывают разные, обнаружилось вскоре после этого: исследования распада мюонов показали, что нейтрино одного типа предпочитают сопутствовать электронам, второго —

<sup>1</sup> Подробнее см.: Казаков Д.И. Ждем новых открытий в физике элементарных частиц // Природа. 1999. №9. С.14–25.

мюонам (1962). Существование нейтрино еще одного сорта оставалось предположением теоретиков, пока в 1989 г., после запуска электрон-позитронного коллайдера LEP в ЦЕРНе, из наблюдения распадов частиц не стало ясно, что типов нейтрино именно три — ни больше и ни меньше.

Косвенные указания на существование тау-нейтрино можно было усмотреть в картинах распада промежуточного бозона W, зарегистрированных ранее в ЦЕРНе на протон-антипротонном коллайдере. Помимо случаев распада W-бозона с вылетом мюона и электрона (и соответствующих нейтрино), укладывающихся в кинематику двух частиц, в 29 случаях была обнаружена более сложная картина. Ее можно объяснить, предположив, что в этих случаях мюоны и электроны имеют вторичное происхождение и возникают после первичного распада W-бозона на тау-лептон и соответствующее тау-нейтрино. Последующий распад тау-лептонов порождает мюоны и электроны, которые и наблюдались в отдельных редких событиях. В этой цепочке распадов возникает специфический дефицит энергии — ее уносят не регистрируемые в таком эксперименте нейтрино, два из которых — тау.

И вот, наконец, неуловимые прежде призраки оставляют вполне осязаемый след. В рамках проекта «DONUT» («Direct Observation of the NUetrino Tau» — «Прямое наблюдение тау-нейтрино») зафиксировано четыре характерных трека с изломами, указывающими, что в цепочке превращений промелькнуло нестабильное тау-нейтрино. В этом эксперименте протонный пучок с энергией 800 ГэВ (самой высокой из достижимых сегодня) бомбардирует массивную мишень и порождает множество вторичных нестабильных частиц. Среди них есть и D<sub>s</sub>-мезон, который, распадаясь, может дать тау-нейтрино. Электрически заряженные продукты распада частиц отсеиваются магнитами, большая часть оставшихся поглощается толстыми экранами. И лишь нейтрино, слабо взаимодействуя с веществом, продолжает свой путь к детектору, со-

стоящему из набора железных пластин, прослоенных специальной фотографической эмульсией. Такой сандвич «замечет» лишь одно из триллиона нейтрино, которое при столкновении с ядром железа испустит тау-лептон. Последний, перед распадом, оставит в фотоэмульсии характерный след субмиллиметровой длины, который надо распознать. И такие случаи были зафиксированы. Точнейший анализ тонких особенностей треков, позволивший на фоне массы собранных данных выделить искомые события (пока их четыре), стал триумфом эмульсионной технологии, разработанной в Нагое (Япония). Сам же эксперимент — новый пример плодотворного международного сотрудничества: в нем принимают участие ученые США, Греции, Японии и Кореи.

CERN Courier. 2000. V.40. №7. P.8 (Швейцария).

## Биофизика

### Мощное СВЧ-излучение может быть опасным для живых организмов

В исследованиях по влиянию микроволнового излучения на биологические объекты, как правило, используют относительно мало мощные источники. Мощность же современных СВЧ-генераторов, применяемых в экспериментальной физике, радиолокации, радионавигации, достигает 10<sup>9</sup> Вт при длительности импульсов 10–100 нс и частоте их повторения более 100 Гц, а напряженность электрического поля в зоне облучения может превышать 10<sup>5</sup> В/м.

Группа исследователей из Института сильноточной электроники Сибирского отделения РАН (Томск) и Томского государственного университета изучала влияние мощного импульсного излучения наносекундной длительности с длиной волны 3 см на рост кишечной палочки (*Escherichia coli*) и плесневого грибка рода *Fusarium*, а также на индивидуальное развитие плодовой мушки (*Drosophila melanogaster*).

В экспериментах на кишечной палочке каких-либо значимых из-

менений не обнаружено. При действии СВЧ-импульсов на плесневой грибок скорость роста клеток снижалась примерно до 0.242 мм/ч (вместо 0.338 в норме). Примечательно, что в качестве последствия выявилась тенденция к ускорению роста.

Влияние СВЧ-излучения на дрозофилу проявлялось по-разному — в зависимости от стадии развития мух и режима облучения. При пятиминутном воздействии СВЧ-импульсов с частотой повторения 6 Гц на эмбрионы часового возраста у 5.8% облученных нарушалась сегментация тела, 38% вылетевших мух погибли в первые сутки, а оставшиеся не откладывали яйца. После 12-минутного облучения эмбрионов того же возраста первый показатель вырос до 8.6%, а смертность за трое суток достигла 44%. Облучение (5 мин, 22 Гц) 15-часовых эмбрионов, личинок второй стадии развития, а также семисуточных куколок привело к гибели 16.7% первых (против 2.3% в контроле), 5% — вторых (в норме — 0.5) и 21.6% (вместо 2.2% в контроле) — третьих.

Последствия СВЧ-облучения взрослых мух также зависят от его режима. При довольно высоких (16, 50 и 100 Гц) частотах повторения импульсов и длительности воздействия от одной минуты и более погибли 5—12% особей уже во время эксперимента; у выживших никаких аномалий не отмечалось, равно как и в их потомстве. Если же частота повторения импульсов составляла 6 и 10 Гц, мухи не погибли, какие-либо видимые отклонения у них отсутствовали, но потомство полностью вырождалось: количество дефектов в сегментации тела достигало 34%, смертность через сутки — 38%, ни одна муха из первого поколения облученных родителей не отложила яиц.

Из полученных авторами результатов следует, что мощное микроволновое излучение даже наносекундной длительности может оказывать воздействие на организмы, в ряде случаев несовместимое с жизнью. Авторами пока не определены его конкретные механизмы, но они уверены, что характер влияния СВЧ-

излучения зависит от степени сложности и возраста организма, а также от частоты следования импульсов.

Доклады Академии наук. 2000. Т.371. №5. С.691—695 (Россия).

## Зоология

### Беззубые кинжалозубы

В декабре 1998 г. в центральной части Кунаширского пролива на глубине 300—350 м были пойманы четыре особи кинжалозуба (*Anotopterus nikparini*) — активного мезопелагического хищника, который охотится на сайру, морского окуня, может справиться с лососем, а случается и нападает на акул. Любопытно, что все пойманные экземпляры (три самца с гонадами на II—III стадиях зрелости и одна самка с гонадами на III стадии зрелости) оказались беззубыми, а их желудки — пустыми и сильно сжатыми. Эти темно-серебристые рыбы с черными головой и плавниками были внушительных размеров — длиной от 90 до 117 см, что близко к предельным размерам для данного вида.

Хотя до сих пор биология кинжалозуба мало изучена, известно, что выпадение зубов у них наблюдается как при созревании, так и в период нереста. Считается, что нерестится кинжалозуб один раз в жизни, после чего погибает. Нагул неполовозрелых особей всех представителей рода *Anotopterus* происходит в холодных водах вплоть до Субарктики и Антарктики, нерест — на периферии субтропических вод. В связи с этим особенно интересна находка нескольких лишенных зубов особей, в том числе преднерестовой самки, в Кунаширском проли-

ве в декабре, когда температура воды у поверхности около +1°C.

Кунаширский пролив заполняет довольно глубоководную (более 1500 м в северной части) котловину, которая на юге достаточно резко переходит в мелководье с глубинами менее 10 м. Преобладающее течение в проливе проходит с юга вдоль побережья о.Хоккайдо. С севера в пролив вдоль о.Кунашир заходят воды из Охотского моря, образуя небольшой круговорот.

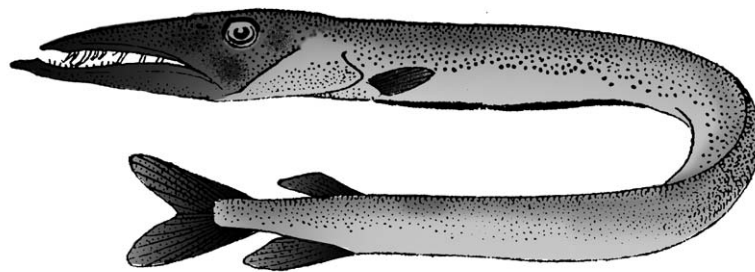
По мнению В.А.Шелехова (Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, Владивосток) и Д.В.Багинского (Сахалинское отделение того же центра, Южно-Сахалинск), пойманные особи кинжалозуба — это, возможно, мигранты-неудачники, оказавшиеся в своеобразной температурной ловушке Кунаширского пролива. Подтверждением может служить то, что наряду с кинжалозубом в этот же период в проливе встречались японский анчоус (*Engraulis japonicus*) и сайра (*Cololabis saira*) — рыбы субтропического комплекса, которые обычно уходят из данного района не позднее ноября.

Вопросы ихтиологии. 2000. Т.40. №4. С.571—572 (Россия).

## Экология

### Сухопутным фитофагам труднее, чем водным

Эффективность усвоения пищи растительноядными животными, как правило, выше в водных экосистемах, чем в наземных. Обычно это связывают с тем, что в водной среде основные продуценты — это мелкие, легко перерабатываемые планктонные водоросли и циано-



Кинжалозуб.

бактерии, а на суше — высшие растения, часто защищенные корой, колочками, вторичными метаболитами (алкалоидами, танинами и т.п.). Кроме того, основную массу наземной растительности составляют целлюлоза и лигнин — вещества, которые могут усваиваться животными только с помощью бактерий и грибов.

С несколько другой стороны к этому вопросу подошли недавно Дж.Элсер из Университета штата Аризона (США) и его коллеги из других университетов США<sup>1</sup>. В основе их подхода лежит сопоставление стехиометрических соотношений (пропорций, в которых находятся концентрации атомов углерода, азота и фосфора) в биомассе пресноводных и наземных продуцентов, с одной стороны, и в телах их потребителей, фитофагов, — с другой.

Обобщив множество опубликованных, а также собственных данных, исследователи обнаружили, что для пресноводных продуцентов в среднем отношение C/N ≈ 10:1, для наземных — 36:1 (разброс значений в обоих случаях очень велик). Разница между этими двумя группами организмов проявляется и в соотношении C/P, опять же при большом разбросе величин. В то же время отношения C/N и C/P у разных животных-фитофагов (использовали только беспозвоночных) не обнаруживают заметной разницы в значениях, а средние величины для каждой из этих групп животных очень близки:

	C/N	C/P
Водная растительность	10:1	307:1
Наземная растительность	36:1	968:1
Водные фитофаги	6.3:1	124:1
Наземные фитофаги	6.5:1	116:1

Сопоставив все полученные значения, авторы приходят к выводу, что в подавляющем большинстве случаев стехиометрические соотношения основных биогенных элементов в растительной пище неблагоприятны для потребителей как на суше, так и в воде: они сильно отличаются от соотношения этих элементов в телах самих

организмов, и поэтому животным, чтобы получить необходимое количество азота и фосфора, приходится поглощать излишнее количество углерода. Однако в веществе водных растений это соотношение все же ближе к оптимальному, чем в веществе наземных.

Помимо обобщения множества оценок стехиометрических соотношений в обсуждаемой работе приведены также экспериментальные оценки эффективности ассимиляции углерода (доля потребленного углерода, идущая на прирост биомассы) двумя беспозвоночными-фитофагами. В качестве наземного фитофага использовали гусениц бабочки *Pieris rapae*, в качестве водного — ветвистоусого рачка *Daphnia magna*. Гусеницам предлагали корм с разным соотношением C/N (от 10 до 40), дафниям — с разным соотношением C/P (от 100 до 900). В обоих случаях отмечено существенное повышение эффективности ассимиляции пищи по мере того, как соотношение этих элементов в корме приближалось к соотношению их в биомассе потребителей.

Фактически эти эксперименты еще раз подтвердили, что значение отношений C/N или C/P, наиболее типичные для природной пищи, далеко не оптимальны для растительноядных животных.

© А.М.Гиляров,

доктор биологических наук  
Москва

## Геология

### Невидимое золото

Почти 10% всего золота, добываемого в мире, поступает с территории штата Невада (северо-запад США). В 1997 г. (более поздних данных еще нет) здесь добыли 240 т. И вот что важно: почти весь невадский желтый металл состоит из субмикронных частичек; подобные месторождения геологи относят к так называемому карлинскому типу. В Неваде субмикронные частицы золота обнаруживаются среди богатых мышьяком кристаллов пирита (FeS<sub>2</sub>), а также в марказитах — ромбо-

видных или копьевидных сростаниях, имеющих тот же химический состав (их еще называют лучистым колчеданом). Поскольку эти частицы слишком малы (их и в обычный микроскоп невозможно разглядеть), естественно, изучать отложения подобного типа весьма затруднительно. Как такие месторождения возникают и где, кроме Невады, они еще могут встречаться?

Изучением этой проблемы уже 10 лет занимается Дж.Клайн (J.Cline), профессор Университета штата Невада. Она считает, что карлинские месторождения сформировались в середине третичного периода, около 40 млн лет назад. Как раз в это время северная часть нынешней территории Невады пережила геотектоническую революцию: сжатие земной коры сменилось ее растяжением. Поверхность Земли покрылась множеством трещин и глубоких разломов, по которым стала подниматься жидкость, а на породах, встречавшихся на ее пути, начало осаждаться золото. Такие рудные тела глубоко пронизывают недра, но еще пять лет назад их разрабатывали открытым способом. В Северной Неваде существуют четыре золотоносные провинции<sup>1</sup>. В крупнейшей из них (Карлин-Тренд) содержится более 3 тыс. т золота, распределенного по 60 месторождениям. В остальных трех насчитывается поменьше, но тоже значительное количество.

Чтобы изъять золото из породы, обычно ведут его выщелачивание цианидом. Но теперь одна из горнодобывающих американских компаний опробовала другую методику — биологическую, при которой на породу воздействуют бактериями<sup>2</sup>. Некоторые микроорганизмы способны «поедать» сульфидную породу, высвобождая тем самым желтый металл.

Поиски месторождений золота, принадлежащих к карлинскому типу, уже привели в Китае

<sup>1</sup> См.: Константинов М.М. Революция в геологии золота // Природа. 1998. №3. С.39—45.

<sup>2</sup> Об осаждении самородного золота на микроорганизмах см. также: Микроорганизмы в золотом футляре // Природа. 1996. №11. С.115—116.

и на Среднем Востоке к некоторым обнадеживающим результатам, правда, еще требующим серьезного подтверждения. Лекция, недавно прочитанная Клайн в Австралии, побуждает геологов этой страны заняться и у себя подобными поисками.

Ausgeo News. 2000. №58. P.16 (Австралия).

## Палеонтология

### На паутине – со звезд на Землю

Новые и, как всегда, неожиданные результаты получены сотрудниками Межштатской лаборатории бактериальной палеонтологии. С помощью электронного сканирующего микроскопа на поверхностях и сколах всевозможных горных пород и метеоритов выявлены многочисленные округлые и линейные отдельные, которые легко интерпретируются как остатки фототрофных окислительных цианобактерий. Кроме того, обнаружен удивительной сохранности мицелий актиномицетов и низших плесневых грибов. По этим находкам, хорошо освещенным в массовой печати, неперемный соросовский профессор А.Ю.Тюльпанов сформулировал в свое время сенсационные гипотезы, а именно: во-первых, вопреки мнению маловеров и скептиков, жизнь во Вселенной все-таки есть, а, во-вторых, на Землю жизнь была занесена из космоса на метеоритах не в виде отдельных организмов, а целыми экосистемами, причем некоторые из них представляют собой фрагменты цианобактериальных матов, выбитых из приповерхностных слоев других планет ударами астероидов.

Новейшие исследования не только обогатили науку совершенно неожиданными фактами, но и подвигли на дальнейшие поиски других форм жизни как в образцах древнейших горных пород, так и на метеоритах. Успех превзошел все ожидания: в тех и других объектах найдены части покровов и придатки паукообразных, аналогичных, к при-

меру, акариформным клещам (их можно обнаружить в почве цветочных горшков или в бытовой пыли). Это доказывает огромную геологическую древность паукообразных и их воистину вселенское распространение.

Сделанное открытие несомненно принадлежит к важнейшим в XX в. Оно столь существенно дополняет концепцию панспермии С.Аррениуса, что впору говорить о рождении нового научного направления — панархнии. Паукообразные, как хорошо известно, могут выдерживать широчайший спектр неблагоприятных условий, а мелкие пауки, заносясь потоками воздуха в высокие слои стратосферы, сохраняют жизнеспособность (впадая в анабиоз) даже при замораживании. А от атмосферы до космоса, понятно, всего один шаг.

Возможно, палеонтологи давно уже находили ископаемые остатки нитей паутины доисторических пауков, но рассматривали их, ввиду существующей научной парадигмы, просто как нитчатые микрофоссилии — остатки водорослей, а попавшие в паутину микроорганизмы принимали за формы, обитавшие в мате. А ведь чем, если не водорослями, могли питаться паукообразные на ранних, чисто водных этапах развития жизни на Земле и как использовать паутину, если не в качестве ловчей сети? Но почему же тогда отсутствуют паукообразные в современных морях? Скорее всего, это просто результат длительной эволюции: древнюю группу вытеснили из традиционных мест обитания ее потомки и конкуренты. Многочисленные примеры подобного рода прекрасно известны палеонтологам.

То, что жизнь на Земле в течение всей своей истории развивалась под контролем паукообразных, объясняет инстинктивный страх перед пауками, использование их образов и создаваемой ими паутины как символов тайной силы и власти в культурах многих народов. И глобальная сеть Интернет, все больше и больше охватывающая совре-

менную цивилизацию, тоже происходит от паутины. Необходимо отметить, что эти достижения отечественной науки вызвали неподдельный интерес у специалистов американского космического агентства НАСА, получивших воистину беспрецедентные результаты в рамках проекта «Mars Climate Orbiter» в 1999 г.

PINUS. 2000. V.70. P.1996–2001.

## Археология

### Наскальные изображения в пещере Арси-сюр-Кюр

Пещера Арси-сюр-Кюр, находящаяся в 96 км от Парижа, много лет привлекала любителей сталактитов и сталагмитов. От факелов туристов стены пещеры закоптились, и в 1976 г. их решено было очистить при помощи соляной кислоты. К сожалению, только в 1990 г. стало известно о побочном эффекте этого мероприятия — было уничтожено до 80% наскальных изображений, которые покрывали стены и своды пещеры. Обнаружить уцелевшую фигуру козла помогло специальное освещение, которое было использовано при съемке телеочерка, посвященного геологии пещеры.

Это открытие положило начало планомерному выявлению рисунков и их съемке в инфракрасных лучах; эту работу ведет группа Национального центра научных исследований под руководством Д.Баффье (D.Baffie). Исследовательница полагает, что впереди ждут новые открытия, но уже сегодня имеются результаты радиоуглеродного датирования рисунков: они созданы 27—29 тыс. лет назад. Отметим, что среди европейских пещерных изображений более древние фигуры выявлены лишь в пещере Шове. По мнению Баффье, кальцитовые отложения, перекрывающие эти рисунки, способствовали их сохранению не только на протяжении тысячелетий, но и спасли часть «зверинца» во время очистки стен.

Archaeology. 2000. V.53. №3. P.17 (США). ■



# О микроорганизмах, токсинах и эпидемиях

А.Я.Лысенко,

доктор медицинских наук

Российская медицинская академия последипломного образования

С.А.Безр,

доктор биологических наук

Институт паразитологии РАН

Рецензируемая книга — попытка автора проанализировать современные достижения в области микробиологии и эпидемиологии паразитарных (главным образом бактериальных и вирусных) инфекций. Обзор носит полемический характер и сопровождается авторскими гипотезами.

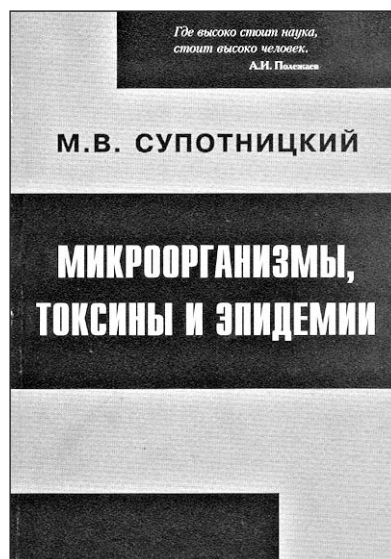
В книгу вошли самые новые литературные данные (в основном по публикациям 90-х годов), в том числе из периодических изданий, к сожалению, малодоступных специалистам нашей страны. Среди них, например, журнал «Emerging Infectious Diseases» (выходит с 1995 г.) и «Trends Microbiology» (с 1993 г.). Вместе с тем заслугу автора в использовании только новейших публикаций не стоит преувеличивать. В наше время достаточно иметь доступ в Интернет, чтобы получать такую информацию, о которой несколько лет назад не приходилось и мечтать.

Структурно книга состоит из четырех разделов: «Как микроорганизмы вызывают болезни?»; «Почему микроорганизмы вызывают эпидемии?»; «Глобальные пандемические циклы»; «Неоткрытые инфек-

ции и нераспознанные пандемии». Перечень названий позволяет предположить высокую компетентность автора как специалиста по микробиологии, генетике и эпидемиологии, а также умелый подбор фактического материала и глубокий его анализ.

Представляют интерес некоторые гипотезы автора, например — вспышка сибирской язвы в Свердловске как террористический акт (с.239—240); замещение экологической ниши, которую занимал вирус натуральной оспы до его ликвидации, вирусом иммунодефицита человека (с.253—258). В то же время в интерпретации фактов автор не избежал поверхностных и необсужденных обобщений. Рассмотрим только некоторые из них.

Вряд ли можно согласиться с положением о том, что возбудители инфекционных болезней — бактерии и вирусы — сами болеют, проникнув в организм хозяина (с.6). Утверждается также, что «переход к паразитизму для микроорганизмов, это, безусловно, успех» (с.9). А разве многочисленные представители нормальной микрофлоры и комменсалы менее «успешны» в своих отношениях с макроорганизмами? Полемичес-



**М.В.Супотницкий. Микроорганизмы, токсины и эпидемии.**

М.: Вузовская книга, 2000. 376 с.

кий азарт автора проявляется иногда в явно «неакадемической форме». Так, один из подразделов параграфа «Патогенность и паразитизм» озаглавлен «Абсурдизация коэволюции» (с.12). Таков безапелляционный приговор автора одной из наиболее популярных теорий эволюции паразитизма. Самое удивительное, что «абсурдность» теории коэволюции он иллюстрирует всего лишь одним общеизвестным примером: различием в течении миксоматоза кроликов в Австралии и Англии. При этом автор довольно небрежно интерпретирует основные факты, приводимые в цитируемой им работе К.Эндрюса (с.13).

В отличие от «абсурдности коэволюции» по Супотницкому, вирусолог с мировым именем Эндрюс назвал соответствующую главу в своей книге: «Эволюция в действии: миксоматоз». Несходство ситуаций с миксоматозом в Австралии и Англии Эндрюс объясняет вполне убедительно различиями в экологии переносчиков вируса (комаров в Австралии и комаров, блох и клещей в Англии), а также экологическими особенностями кроликов.

Подобные примеры некорректного упоминания снижают их ценность. Так Duffy-негативные группы крови служат якобы доказательством длительной ассоциации возбудителя малярии с человеком (с.15). Какого из четырех возбудителей малярии автор имеет в виду? В действительности таковым является *Plasmodium vivax*, но он слабо патогенен, чтобы служить фактором отбора, учитывая полную невосприимчивость к нему представителей негроидной расы. Приведенный в подтверждение этого рис.3 (с.16) не сопровождается легендой и поэтому может быть понятным только узкому кругу специалистов-протозоологов.

Наивно звучит утверждение автора относительно элиминации из Южной Америки завезенного туда «африканского малярийного комара» (по-видимому, имеется в виду *Anopheles aegypti*) благодаря тому, что «он не смог приобрести необходимую в Ю.Америке... темно-зеленую окраску» (с.166).

В подразделе «Чувствительность к возбудителям инфекционных болезней отдельных этнических групп и человеческих популяций» автор в гиперболической форме преподносит читателю роль главного комплекса гистосовместимости как фактора генетической устойчивости людей (с.233). Применительно к ВИЧ инфекции Р.М.Хаитов и Г.А.Игнатъева справедливо отмечают: «Утверждения о том, что “существуют генетически резистентные к ВИЧ люди” и “нет генетически резистентных к ВИЧ людей”, в равной мере, не имеют логической выдержанных доказательств»\*.

Заканчивая разговор о недостатках в анализе и интерпретации фактов, нельзя не отметить многочисленные огрехи в оформлении книги, стилистические, таксономические и иные ляпы. Например, в книгу включено объемное приложение — Каталог возбудителей инфекционных болезней, имеющих тенденцию к распространению. Источник информации — Институт медицины Национальной академии наук США.

Целесообразность этого приложения автором не аргументирована и логически не оправдана. Каталог структурно и содержательно достаточно примитивен. Раздел «Новые бактерии» включает: *Borrelia burgdorferi*, *Chlamydia trachomatis*, *Escherichia coli*, *Legionella pneumophila* и др.; раздел «Вирусы» включает: ви-

рус Чикунгунья, Денге, гепатитов В,С,Е, гриппа А, японского энцефалита, кори и др.; раздел «Появившиеся протозоа, гельминты и грибы» включает: малярийных плазмодиев, лямблий, криптоспоридий, *Strongyloides stercoralis*, *Candida* и др. Как видим, большинство перечисленных инфекций, «имеющих тенденции к распространению», — это нозоформы, хорошо известные не только специалистам, но и студентам медицинских и биологических институтов России. При всем этом каталог по содержанию и качеству намного уступает изданным в России руководствам и справочникам: «Медицинская микробиология» (1998), «Инфекционные и паразитарные болезни человека» (1994) и др.

Каталог не лишен и фактических ошибок. Утверждается, например, что «непосредственная передача вируса Денге от человека к человеку невозможна» (с.309), а передача вируса желтой лихорадки, японского энцефалита, малярии происходит через укусы инфицированных **москитов** (с.324, 333). При ссылках на малярию и шистосомозы эти нозоформы указаны в **единственном числе**. При этом игнорируется тот важный факт, что это — группы болезней, вызываемые разными возбудителями и различающиеся по этиологии. Оформление книги, в частности рисунков, могло бы быть более профессиональным.

Оценивая труд М.В.Супотницкого в целом, можно утверждать, что достоинства работы все же превосходят ее недостатки. Аналогичных полемических публикаций по столь широкому кругу проблем микробиологии и эпидемиологии в нашей стране давно не было. Можно было бы пожелать автору переиздать труд более солидным тиражом, устранив указанные недочеты. ■

\* См.: Хаитов Р.М., Игнатъева Г.А. СПИД. М., 1992. С.352.

## Краеведение

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЗАБАЙКАЛЬЯ. ЧИТИНСКАЯ ОБЛАСТЬ: В 2 т. Т.1: Общий очерк / Под ред. Р.Ф.Гениатулина. Новосибирск: Наука, 2000. 302 с.

Впервые для Забайкалья, в границах Читинской обл., собраны, систематизированы и изданы в виде энциклопедического словаря материалы по истории освоения и изучения края, его природным условиям, геологическому строению, промышленности, сельскому хозяйству, полезным ископаемым, экономике, археологии, науке и культуре.

В первом томе дано общее описание Читинской обл., во втором предполагается в форме отдельных статей дать характеристику типичных для Забайкалья явлений, объектов природы, населенных пунктов, промышленности, науки и образования. Большое внимание в нем будет уделено персоналиям.

## Геология

М.М.Константинов, Е.М.Некрасов, А.А.Сидоров, С.Ф.Стружков. ЗОЛОТОРУДНЫЕ ГИГАНТЫ РОССИИ И МИРА. М.: Научный мир, 2000. 272 с.

История геологии золота самым тесным образом связана с историей нашей цивилизации. Фейерверк открытий крупнейших золоторудных месторождений кардинально изменил всю структуру мировой добычи этого металла.

В Иркутской обл. было открыто месторождение Сухой Лог, в Казахстане — Васильковское. Наиболее «благодатной» для новых открытий стала территория России (особенно Чукотка, Красноярский край, Якутия и Магаданская обл.). Интерес к ним растет. Выявление и освоение даже одного крупного месторождения может стать основой экономического благосостояния государства.

В книге описаны наиболее

крупные отечественные и зарубежные месторождения золота. Предложена их золото-рудно-формационная типизация: мышьяковисто-сульфидная — Майское (Россия), Кумтор (Киргизия), Кармин (США); кварцевая — Нежданинское (Россия), Чармитан (Узбекистан), Бендиго (Австралия); полисульфидно-кварцевая — Васильковское (Казахстан); серебряная — Куранах (Россия), Хисикари (Япония), Зодское (Армения), Раун Маунтин (США); сульфидно-кварцевая — Хемло (Канада); железисто-кварцевая — Хоумстейн (США) и урановая (ЮАР).

Показано распределение месторождений в глобальном масштабе и в геологической истории.

## Археология. Этнография

В.И.Молодин. ДРЕВНОСТИ ПЛОСКОГОРЬЯ УКОК: ТАЙНЫ, СЕНСАЦИИ, ОТКРЫТИЯ / Отв. ред. А.П.Деревенко. Новосибирск: ИНФОЛИО-пресс, 2000. 192 с.

«Укок» с монг. — массивная гора или (как сказано в топонимическом словаре) крупная возвышенность с плоским верхом. Плоскогогорье Укок затерялось на самом юге Горного Алтая, на стыке границ России, Китая, Монголии и Казахстана. В этих местах пять полевых сезонов (1991—1995) в очень непростых условиях работали под руководством автора книги академика В.И.Молодина и доктора исторических наук Н.В.Полосьмак экспедиции Института археологии и этнографии СО РАН. Они изучали памятники самых различных эпох и сделали сенсационные научные открытия.

На Укоке обнаружены погребальные комплексы, датируемые как верхним палеолитом, так и поздним средневековьем, а также наскальная живопись. В высокогорных курганах в условиях вечной мерзлоты сохранились ткани, одежда, ковры, деревянная утварь, предметы из кожи и войлока. В ле-

дьяных линзах могильников были сделаны сенсационные находки забальзамированных тел, покрытых искуснейшей татуировкой.

Книга написана в жанре очерков, которые представляют большинство уникальных находок и сопровождаются комментариями автора. В ней более 200 цветных иллюстраций, по существу это хроника событий экспедиционной жизни.

## История науки. Геология

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КОМИТЕТА — ВСЕГЕИ / Под ред. А.И.Жамойда. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 180 с.

Почти 120 лет прошло со дня основания первого государственного геологического учреждения России — Геологического комитета, от которого ведет свое начало Всероссийский (до 1993 г. Всесоюзный) научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского. Аббревиатура ВСЕГЕИ хорошо известна геологам всего мира.

Книга посвящена жизни и научной деятельности выдающихся ученых ВСЕГЕИ: Б.К.Лихарева, В.Г.Грушевого, М.П.Русакова, Ю.И.Половинкиной, Г.А.Иванова, Н.Н.Курека, С.А.Музылева, Н.П.Лупова, А.В.Хабакова, И.К.Зайцева, Л.И.Боровикова и Л.И.Салопы.

Все они начинали свою деятельность в Геолкомме (Лихарев — еще до революции, в 1913 г.), только трое (Боровиков, Зайцев и Салоп) пришли уже во ВСЕГЕИ. Были первооткрывателями новых месторождений полезных ископаемых (например, месторождение медно-порфириевых руд открыл Русаков), разрабатывали различные направления и методы геологии.

Сборник открывается словом бывшего директора ВСЕГЕИ академика РАН Алексея Дмитриевича Щеглова, недавно ушедшего из жизни.

# Не для того ли волосы растут, что

*Ansatz\**. Волосы — продукт жизнедеятельности, функция которого — выводить из организма отходы, не удаляемые каким-либо более безопасным и экономным путем.

## ПРЯМЫЕ СЛЕДСТВИЯ

Приняв главное положение, трудно не согласиться, что:

- волосы растут там, где накапливаются отходы, не удаляемые из организма обычными путями;
- продукция (производство) отходов — результат протекания каких-то полезных процессов;
- о сокращении отходов в результате ослабления процессов сигнализирует появление плешей, залысин и т.д.;
- смена характера отходов (и как результат — цвета и качества волос) свидетельствует о качественном изменении процессов;
- курчавость волос (где бы они не росли: на голове, под мышками, на лобке) говорит о неравномерности протекания процессов;
- волосы «ведут» летопись организма, что позволяет, например криминалистам, определять присутствие в нем долгодействующих ядов.

Как видим, характер роста волос — показатель интенсивности и качества процессов, которые протекают в участках организма, локализованных под волосяным покровом. Наиболее сложные и одновременно наиболее значимые процессы идут в головном мозге человека. Поэтому, ограничившись обсуждением только самых интересных аспектов — связанных с волосами на голове.

## ЧТО ТВОРИТСЯ В ГОЛОВЕ?

Что происходит в голове, в общих чертах известно всем. Там протекают процессы двух типов: контроля и управления системами организма, с одной стороны, и мышления — с другой. Процессы первого типа высокоэффективны и, следовательно, малоотходны, поэтому наличие или отсутствие волос на голове у тех категорий людей, которые не обременены про-

цессами второго типа, не может (в первом приближении) служить критерием адекватности работы мозга, как органа управления. Подавляющая масса населения не утрачивает своих профессиональных навыков даже при полном облысении головы. Вспомните лысых обувщиков, часовщиков, сварщиков, бегунов на длинные дистанции, чиновников среднего звена и т.п.

Процессы второго типа связаны с работой мысли. Поскольку большинство родов деятельности человека не требует сколько-нибудь интенсивной мыслительной нагрузки, эти процессы, так сказать, факультативные, если иметь в виду все человечество. С другой стороны, осреднение любой характеристики неизбежно выводит из поля зрения отдельные случайные составляющие. А без них никак не обойтись, ведь немалая часть людей как раз использует мыслительные процессы постоянно, к чему обязывает их работа. Здесь все вспомнят об учителях и профессорах, научных работниках, чиновниках высшего звена, бизнесменах, писателях, наконец.

Анализируя связь волосяного покрова с интенсивностью мыслительного процесса, мы должны иметь в виду, что последний имеет две качественно различные стороны. Условно эти две категории можно назвать ум и мудрость. Первая есть способность познавать новое, в частности делать открытия. Вторая — анализировать багаж знаний. С точки зрения энергозатрат и, значит, упомянутой выше продукции отходов эти две категории мыслительного процесса отличаются кардинально. Ум — крайне малоэффективная психическая деятельность организма, сопровождаемая большими энергозатратами и, как следствие, большим производством отходов. Напротив, мудрость — процесс достаточно эффективный, поэтому протекает без заметной элиминации отходов и по затратам сравним с управленческой деятельностью мозга.

## А ЧТО ВИДНО ПО ВОЛОСАМ?

Проиллюстрируем теоретические результаты данными наблюдений, ограничиваясь характеристикой типичных картин волосяного покрова головы.

**Густые волосы.** Люди способны к восприятию новой информации, ее творческой переработке (иногда до полной неузнаваемости), получению новых результатов. Это не обязательно учащиеся и женщины, это и изобретатели (Т.Эдисон), ученые (С.Ковалевская, Л.Ландау), писатели (Ж.Верн). Среди волосатых политиков, например, все — реформаторы (Иван Грозный и Петр I, И.Сталин, А.Пиночет, Б.Ельцин).

**Отсутствие волос.** Лысым свойственно полное неприятие новой информации, поэтому большинство из них — консерваторы, которые живут старыми знаниями. Переучить и переубедить их практически невозможно, равно как и нет смысла ожидать от них сколько-нибудь значимых открытий или предложений.

Все же тем из них, кто успел приобрести заметный багаж знаний, остается последняя из перечисленных выше степеней свободы — мудрость. В динамике качественную трансформацию ума в мудрость легко понять. Чем больше багаж знаний, тем больше энергии требуется на его поддержание и, что важнее, использование. На каком-то этапе человек устает и при постоянном прессинге этой усталости интенсивность ума как процесса затормаживается. Способности к обучаемости и поиску новых решений утрачиваются, становясь второстепенными. По принципу наименьшего действия, потоки энергии переключаются на подпитку мудрости, а на острый ум их уже не хватает. Свертывание наиболее затратного мыслительного процесса ведет к сокращению выработки отходов и, как следствие, волосы перестают расти и в дальнейшем выпадают.

Из общеизвестных примеров наи-

\* Ansatz (нем.) — основное положение теории.



более показательны лысые политики, все они (Н.Хрущев, М.Горбачев, В.Юганов и др.) — консерваторы. Об ученых и говорить страшно — лысые доктора наук, профессора, академики — это нонсенс! Недаром таких в народе кличут яйцеголовыми, ведь настоящие изобретатели — волосатые. Если же вы встретите лысого изобретателя, знайте: он всю жизнь проталкивает свое изобретение и уже польсел на нем.

**Плещи и залысины.** Люди с такой картиной волосатости занимают промежуточное положение между вышеназванными крайними случаями. Глядя на них, становится ясно, какая часть умственного потенциала уже израсходована.

**Курчавые волосы.** Картина возникает при нестабильном протекании мозговых процессов, как правило, это — признак слабой нервной системы. В самом деле, видели ли вы курчавых чемпионов мира по шахматам?

**Седые волосы.** Поседение волос — признак старения. В то же время известно, что перенесенный страх или стресс также вызывает быстрое поседение. В нашей альтернативной теории это легко объяснить.

При стрессе резко нарушается нормальное течение мозговых процессов и в кровь выбрасывается боль-

шое количество активных веществ, так как человек должен оперативно действовать. Если он не находит какого-либо противодействия, будучи как бы в оцепенении, организм начинает нейтрализовать эти вещества, а в результате — поседение. Так что седина — признак произошедшего нарушения или отклонения от нормы регуляционных процессов организма.\*

**Цвет волос.** Этот параметр, как правило, переменный. Но у тех, кто не красится и еще не поседел, может служить определенным признаком. Так, приходится согласиться, что темный цвет волос генетически более сильный. Рыжие и блондины имеют большую предрасположенность к болезням. Поэтому превалируют в популяциях, проживающих в областях с переменными и не очень тяжелыми климатическими условиями. Замечено также, что рыжие в большинстве своем люди более резкие и жесткие, и скорее злые, чем добрые. Светлые — более слабые, а потому чаще более добрые.

\*Отметим, что седина, как и курчавость, локализуется над тем участком организма, в котором определяющий качество волос процесс приобрел соответствующий характер (отклонение от нормы или нестабильность). При этом вполне возможно, что место — не на голове.

**Женские хитрости.** Почему женщины так любят краситься под блондинок? Дело в том, что сами не осознавая того, они хотят выглядеть слабыми и тем самым привлечь к себе внимание сильного пола. А зачем женщины завиваются? Конечно, для того, чтобы выглядеть неуравновешенными, может быть даже взбалмошными, что должно создавать иллюзию легкой доступности.

**РЕЗЮМЕ**

Волосы могут служить критерием хорошей наследственности и здоровья, если они черные, густые, толстые, прямые, чистые (без лаков и красок) и длинные.

© А.С.Новоселов  
Москва

*P.S. Обдумывая последнюю фразу текста, автор ненароком взглянул в зеркало и с ужасом обнаружил, что он ведь тоже совсем лысый. Этот факт сам по себе его давно уже не печалил, но вот беда — как согласовать в рамках его теории выявленное противоречие: волос на голове нет, а мыслительный процесс был и завершился успешно? А что если перелицевать Ansatz и построить еще одну теорию, исходя из противоположного утверждения? Пожалуй, надо попробовать... ■*

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

**Ю.К.ДЖИКАЕВ**

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

**М.Я.ФИЛЬШТЕЙН**

Художественный редактор

**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией

**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор

**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:

**П.А.ХОМЯКОВ**

Набор:

**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры

**В.А.ЕРМОЛАЕВА**

**Л.М.ФЕДОРОВА**

Графика, верстка:

**Д.А.БРАГИН**

Свидетельство о регистрации

№1202 от 13.12.90

Учредители:

Президиум Академии наук СССР,  
Издательско-производственное и  
книготорговое объединение «Наука»  
Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,  
Москва, ГСП-1, Мароноковский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 14.03.2001

Формат 60×88 1/8

Бумага типографская №1,  
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 4483

Набрано и сверстано в редакции

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