

Познавательный журнал для хороших людей

# НАУКА

из первых рук

[www.scfi.ru](http://www.scfi.ru)

5<sup>(47)</sup>  
● 2012

ВСЕЛЕННАЯ:  
ТРИ СЦЕНАРИЯ  
А. ФРИДМАНА

ГРИБЫ  
ВЫХОДЯТ  
НА ОХОТУ

МАКРОФАГ  
МНОГОЛИКИЙ  
И ВЕЗДЕСУЩИЙ

НАНОКОНСТРУКТОР:  
СДЕЛАЙ САМ

# СКОЛЬКО СЦЕНАРИЕВ У ВСЕЛЕННОЙ?





При выращивании нанопроводов было случайно обнаружено, что формирующаяся на поверхности мембраны «грязь» представляет собой разнообразные металлические мезоструктуры, своим обликом и архитектурой поразительно напоминающие биологические объекты.

*Фото Г. К. Струковой и Г. Н. Струкова  
(Институт физики твердого тела РАН, г. Черноголовка, Московская обл.)*

на стр. 72

*На первой странице обложки:*

Методом капиллярной самосборки из углеродных нанотрубок можно получить разнообразные микроконструкции.

*Сканирующая электронная микроскопия.*

*Фото публикуется с разрешения авторов и Общества по изучению свойств материалов (США) – организатора конкурса «Наука как искусство».*

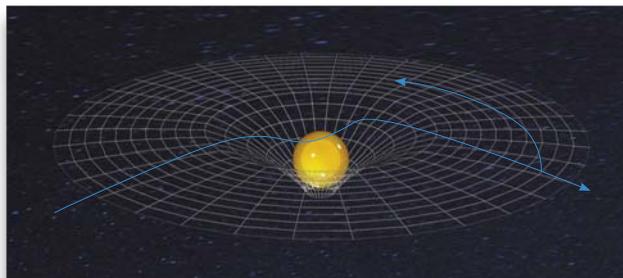
*Image Courtesy of the Materials Research Society Science-as-Art Competition and M. De Volder (imec and KULeuven, Belgium), S. Tawfik and A.J. Hart (University of Michigan)*

**5.** 2012  
научно-популярный журнал



# НАУКА

из первых рук



## В НОМЕРЕ:

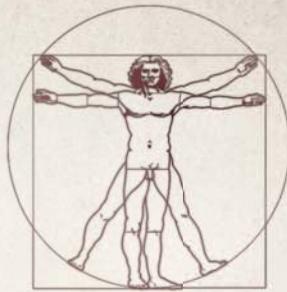
В поиске космологического решения уравнений общей теории относительности российский физик Александр Фридман в начале 1920-х гг. создал динамическую модель Вселенной и разработал теорию Большого взрыва, встретившие поначалу критику и непонимание со стороны Эйнштейна

С помощью численной гидродинамической модели создана стабилизирующая конструкция для работающего гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС, позволяющая устранить одну из главных причин катастрофы 2009 г.

Поймав нематоду в «капкан» – сжимающееся кольцо или клейкие петли, хищный гриб парализует жертву и проникает в ее тело, выделяя антибиотики и «пищеварительные» ферменты

Тепловизор – «видеокамеру», снимающую в инфракрасном диапазоне, можно использовать для диагностики и контроля процесса лечения самых разных заболеваний, от онкологии до травматологии

Познавательный журнал  
для хороших людей



#### Редакционная коллегия

главный редактор  
акад. Н.Л. Добрецов

заместитель главного редактора  
акад. В.В. Власов

заместитель главного редактора  
акад. В.Ф. Шабанов

ответственный секретарь  
Л.М. Панфилова

акад. М.А. Грачев

акад. А.П. Деревянко

чл.-кор. А.В. Латышев

акад. Н.П. Похиленко

акад. М.И. Эпов

к. ф.-м. н. Н.Г. Никулин

#### Редакционный совет

акад. Л.И. Афтанас  
чл.-кор. Б.В. Базаров  
чл.-кор. Е.Г. Бережко  
акад. В.В. Болдырев  
акад. А.Г. Дегерменджи  
д.м.н. М.И. Душкин  
проф. Э.Краузе (Германия)  
акад. Н.А. Колчанов  
акад. А.Э. Конторович  
акад. Э.П. Кругляков  
акад. М.И. Кузьмин  
акад. Г.Н. Кулипанов  
д.ф.-м.н. С.С. Кутателадзе  
проф. Я. Липковски (Польша)  
акад. Н.З. Ляхов  
акад. Б.Г. Михайленко  
акад. В.И. Молодин  
д.б.н. М.П. Мошкин  
чл.-кор. С.В. Нетесов  
д.х.н. А.К. Петров  
проф. В. Сойфер (США)  
чл.-кор. А.М. Федотов  
д.ф.-м.н. М.В. Фокин  
д.т.н. А.М. Харитонов  
чл.-кор. А.М. Шалагин  
акад. В.К. Шумный  
д.и.н. А.Х. Элерт

«Естественное желание хороших  
людей – добывать знание»

Леонардо да Винчи

#### Периодический научно-популярный журнал

Издается с января 2004 года

Периодичность: 6 номеров в год

Учредители:

Сибирское отделение Российской  
академии наук (СО РАН)  
Институт физики полупроводников  
им. А.В. Ржанова СО РАН  
Институт археологии и этнографии  
СО РАН  
Лимнологический институт СО РАН  
Институт геологии и минералогии  
им. В.С. Соболева СО РАН  
Институт химической биологии  
и фундаментальной медицины СО РАН  
Институт нефтегазовой геологии  
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН  
ООО «ИНФОЛИО»

Издатель: ООО «ИНФОЛИО»

Адрес редакции и издателя:  
630090, Новосибирск,  
ул. Золотодолинская, 11  
Тел.: +7 (383) 330-27-22, 330-21-77  
Факс: +7 (383) 330-26-67  
e-mail: zakaz@infolio-press.ru  
e-mail: editor@infolio-press.ru

www.ScienceFirstHand.ru

Журнал зарегистрирован  
в Федеральной службе по надзору  
в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор)

Свидетельство ПИ № ФС77-37577  
от 25 сентября 2009 г.

ISSN 1810-3960

Тираж 2000 экз.

Отпечатано в типографии  
ООО «ИД „Вояж“» (Новосибирск)

Дата выхода в свет 31.12.2012

Свободная цена

Перепечатка материалов только  
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2012  
© ООО «ИНФОЛИО», 2012

#### Над номером работали

к.х.н. Л. Беляева  
И. Гайнутдинов  
С. Коротаев  
Н. Михайлова  
к.б.н. Л. Овчинникова  
Л. Панфилова  
к.б.н. М. Перепечеева  
А. Харкевич

#### Дорогие друзья!

В этом выпуске 2012 г., объявленном Годом российской истории, мы знакомим наших читателей с историей одного из крупнейших научных открытий, касающихся самих основ мироздания.

Ровно девяносто лет назад, в 1922 г., в Петрограде российский физик А.А. Фридман сформулировал фундаментальные уравнения, описывающие эволюцию Вселенной. Именно он первым математически корректно и физически верно описал расширение Вселенной: ему по праву принадлежит приоритет в создании теории Большого взрыва.

На страницах журнала мы рассказываем о становлении космологических идей гениального физика и истории формирования космологии в те далекие годы, а также публикуем редкие архивные фотографии и автографы Александра Александровича.

Нужно было обладать огромным гражданским и научным мужеством, чтобы в послереволюционном Петрограде, в нелегких условиях, практически без доступа к мировой научной литературе заниматься разработкой релятивистской космологии, невообразимо далекой от реалий того времени.

Теории Фридмана пришлось пройти непростой путь, ведь даже великий Эйнштейн не сразу понял ее значение, а благодаря идеологическим вывертам советского времени идеи российского физика в его родной стране замалчивались. Космологические открытия последних десятилетий, показавшие, что Вселенная (скорее всего, ее видимая часть) расширяется, и расширяется с ускорением, полностью подтвердили его теоретические выкладки, и сегодня приоритетный вклад Фридмана в понимание фундаментальных свойств Вселенной общепризнан.

Как известно, научно-познавательная деятельность человека имеет два интегральных аспекта, часто взаимодействующих и взаимопроницающих, – фундаментальности и прикладной. Наглядным примером такой деятельности служат исследования хищных почвенных грибов, на основе которых новосибирским ученым удалось решить одну из насущных практических задач.

Речь идет об эффективных и экологически безопасных биотехнологиях, позволяющих при производстве продуктов питания избежать применения опасных для человека химических веществ, без чего немыслимо будущее сельского хозяйства. Сегодня серьезную проблему как для крупных хозяйств, так и для обычных дачников представляют круглые черви (нематоды), паразитирующие на растениях и домашних животных. Ряд этих гельминтов несет немалую угрозу и здоровью людей, которые могут заразиться паразитами при непосредственном контакте либо через почву.

Хищные грибы, формирующие на нитях грибницы специальные охотничьи приспособления, являются естественными врагами нематод. На основе наиболее



активных штаммов этих грибов уже созданы биопрепараты для защиты растений, разрешенные к применению на территории России, которые позволяют намного повысить урожайность и устойчивость картофеля и других овощных и ягодных культур. Исследования на домашних животных показали высокую перспективность использования этих штаммов в ветеринарии, а в будущем – и для лечения гельминтозов человека.

Одна из пугающих проблем последних десятилетий – технологические катастрофы, поражающие своими масштабами. Все помнят о трагедии, произошедшей на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г., тогда многие задавались вопросом о ее причинах.

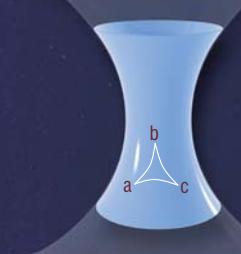
Оказывается, при проектировании турбин не были учтены многие факторы. Современное состояние вычислительной техники и методов математического моделирования позволило ученым в тонкостях изучить гидродинамические процессы в гидротурбинах Саяно-Шушенской ГЭС и найти способы устранить ошибки. Простейшая модификация оборудования привела к полному устранению опасных вибраций.

Тот же метод был применен и для другого мощного энергетического объекта – Березовской ГРЭС, где с помощью компьютерного моделирования были исследованы процессы горения угля в топке угольного котла. В результате удалось найти причины неэффективной работы котла и повысить его мощность почти на 10 %.

Все эти примеры в очередной раз показывают, какие важные практические «плоды» могут давать фундаментальные исследования. Естественное для настоящего ученого стремление докопаться до истины может сберечь огромные, многомиллиардные средства, несопоставимые по масштабам с затратами на само исследование. Главное, чтобы понимание этих простых истин не приходило к нам слишком поздно.

Академик Н.Л. Добрецов,  
главный редактор

чем радиус кривизны связывается с общей массой материи, расположенной в пространстве; *De Sitter* получает шаровой мир, в котором уже не только пространство, но и весь мир обладает до известной степени характером мира постоянной кривизны. При этом и *Einstein* и *De Sitter* предполагают определенный характер тензора материи, отвечающий гипотезе не связанности материи и ее относительно *покою*, иначе говоря достаточной малости скоростей материи по сравнению с фундамен-



xx/ *De Sitter, On Einstein's theory of gravitation and its astronomical consequences, Monthly Notices of the R. Astronom. Soc., 1916-1917.*  
 xxx/ Под пространством будем подразумевать пространство описываемое многообразием трех измерений, относя термин "мир" к пространству описываемому многообразием четырех измерений.  
 ху/ См. *Klein, Ueber die Integralform der Erhaltungssätze und die Theorie der räumlich-geschlossenen Welt, Götting. Nachr. 1918.*  
 уу/ См. тот термин у *Eddington'a* в книге "Espace, Temps et Gravitation, 2 Partie, p. 10, Paris, 1921."

**КОСМИЧЕСКИЕ** наблюдения последнего десятилетия подтвердили истинность одного из трех сценариев **РАЗВИТИЯ ВСЕЛЕННОЙ**, предсказанных А. Фридманом в послереволюционном **ПЕТРОГРАДЕ**. С. 6

С применением методов **МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ** удалось решить проблему избыточного **ШЛАКОВАНИЯ** угольных котлов и вывести на проектную мощность крупнейшую в России **БЕРЕЗОВСКУЮ ГРЭС**. С. 62

**.01**

**ИСТОРИЯ НАУКИ**

6 **А. Беленький**  
 «Воды, в которые я вступаю, не пересекал еще никто». Александр Фридман и истоки современной космологии

**.02**

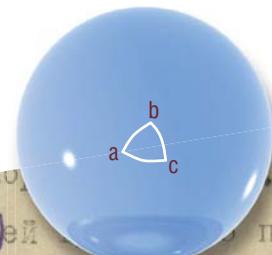
**ЧЕЛОВЕК**

26 **М. И. Душкин**  
 Макрофаг – многоликий и вездесущий  
 34 **А. П. Ковчавцев**  
 Тепловизор: лучше один раз увидеть

**.03**

**НАУКА – ТЕХНОЛОГИЯМ**

44 **Т. В. Теплякова**  
 Грибы выходят на охоту  
 54 **А. А. Дектерев, А. В. Минаков, Д. В. Платонов**  
 Саяно-Шушенская ГЭС: семь раз отмерить  
 62 **А. А. Дектерев, Е. С. Тэпфер, М. Ю. Чернецкий**  
 Угольная топка – дело тонкое  
 72 **Г. К. Струкова, Г. В. Струков**  
 Когда металл растет как цветок



**.04**

**ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЭКСПЕДИЦИЙ**

82 **А. Н. Гилёв, К. А. Каренина**  
 В стране диких кенгуру

**.05**

**ЛИЦОМ К ПРИРОДЕ**

96 **А. В. Гуров**  
 Черный коршун, что ты вешься?..

**.06**

**НАУКА В КАРТИНКАХ**

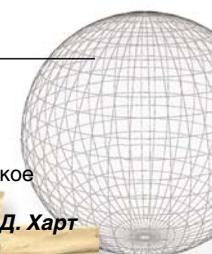
100 **М. Арнегард, Д. Цвикл, Й. Лу, Х. Закон**  
 Шестое чувство – электрическое  
 104 **М. де Вольдер, С. Тофик, А. Д. Харт**  
 Наноконструктор: сделай сам

При определенных условиях процессы роста **МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУР** подчиняются тем же законам формообразования, что и рост **ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ**. С. 72

**КЕНГУРУ** и другие сумчатые, подобно человеку предпочитают передвигаться на двух ногах, еще в сумке матери делятся на «**ПРАВШЕЙ**» и «**ЛЕВШЕЙ**». С. 82



*Дорогой Павел Семенович!*  
 Несмотря на то, что вы пишете, что вы не хотите больше видеть, как расширяется и сферический мир Де Ситтера; я все же пишу еще мир, про-...  
 ...перемещении с термическими сдвигами; это кажется, что отменил закон сохранения энергии...  
 ...ваше письмо с пожеланием вам...  
 ...заметки, если вы найдете...  
 ...моей интересности, то не отка-...  
 ...в каком-либо журнале...  
 ...ожию Матильде Викторовне...  
 ...невысказанным пожеланием, которое...  
 ...могло бы сделать...  
 ...ваш А. Фридман...  
 ...некоторые подробности...  
 ...опубликованной статьи в журнале...  
 ..."; Monthly Notices R. Astr. Soc. за 1917...  
 ...семь в Москве, но достать отсюда журнал почти невоз-...  
 ...шлось, а когда я пишу вам письмо, очень трудно...  
 ...И. В своих известных...  
 ...ским вопросам *Einste*...  
 ...к двум мыслимым типам вселенной; *Einstein* получает так на...  
 ...ываемый цилиндрический мир, в котором пространство...  
 ...облад



# «Воды, в которые я вступаю, не пересекал еще никто»

## Александр Фридман и истоки современной космологии



Девяносто лет назад российский физик Александр Фридман предсказал, что Вселенная может расширяться или сужаться с ускорением или с замедлением и что она могла даже родиться из «ничего». Эти революционные научные идеи первоначально встретили критику и непонимание со стороны Альберта Эйнштейна, и лишь спустя шесть лет после смерти Фридмана создатель теории относительности признал его правоту и стал его горячим сторонником. Фридман ушел из жизни рано – в 37 лет. Возможно, именно поэтому титул первооткрывателя расширяющейся Вселенной присваивался попеременно то Жоржу Леметру, то Эдвину Хабблу. Последние астрономические наблюдения подтвердили справедливость одного из сценариев эволюции Вселенной, предсказанного Фридманом, поэтому так важно сегодня напомнить о приоритете нашего соотечественника в этом великом открытии

*А. Фридман*  
Измерить океан глубокий,  
Сочесть пески, лучи планет,  
Хотя и мог бы ум высокий –  
Тебе числа и меры нет!  
Г.Р. Державин (1784)

Портрет А. А. Фридмана работы художника М. М. Десятова. Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.)



**Ключевые слова:** общая теория относительности, расширение Вселенной, постоянная Хаббла, красное смещение в спектре, космологическая постоянная, кривизна пространства, Риманова метрика, теория накрытий, Большой Взрыв, сингулярность.  
**Key words:** general theory of relativity, expansion of Universe, Hubble constant, spectral red-shift, cosmological constant, curvature of space, Riemann metric, theory of coverings, Big Bang, singularity

© А. Беленький, 2012. ADAPTED WITH PERMISSION FROM PHYSICS TODAY, OCTOBER 2012, PAGES 38–43. COPYRIGHT 2012, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS

БЕЛЕНЬКИЙ Ари – математик и историк науки (г. Ричмонд, Британская Колумбия, Канада). Автор более 20 научных работ. Среди последних публикаций – статьи, посвященные неизвестному ранее календарю Исаака Ньютона (Notes & Records Royal Soc. 59 (3), 2005), объяснению убийства Гипатии Александрийской (Astronomy & Geophysics 51 (2), 2010), достижениям Ньютона в Королевском монетном дворе (Journal Royal Statistical Soc. Series A, в печати), вкладу Александра Фридмана в современную космологию (Physics Today 65 (10), 2012). Фото у Мемориала Эйнштейна (г. Вашингтон, США)

В 1922 г. физик из Петрограда Александр Фридман открывает, что уравнения общей теории относительности Эйнштейна допускают не только статические, но и динамические решения. Как следствие, он выводит два дифференциальных уравнения (теперь уравнения Фридмана), описывающих три возможных сценария развития Вселенной. Согласно им Вселенная может сжиматься, расширяться, схлопываться и даже возникать из точки (как говорят физики, из сингулярности). В 1924 г. Фридман предлагает еще одну революционную идею о возможности существования динамической Вселенной с отрицательной кривизной, а значит, бесконечной по объему и неограниченной в пространстве.

Спустя десятилетия космические наблюдения подтвердили, что один из трех сценариев развития космоса, предложенных Фридманом в 1922–1924 гг., оказался соответствующим действительности. Трём американским астрономам, обнаружившим ускоренное расширение Вселенной, была присуждена Нобелевская премия по физике за 2011 г. При обосновании важности этого открытия Шведская королевская академия наук ссылается на работы Фридмана (Scientific Background on the Nobel Prize in Physics, 2011), но при этом в значительной степени искажает суть его вклада.

К сожалению, непонимание и отрицание с самого начала сопровождали космологические идеи Фридмана, безупречно сформулированные с математической точки зрения. Но время все расставляет по своим местам...

## Общая теория относительности: Эйнштейн против де Ситтера

Общая теория относительности предполагает, что гравитационное взаимодействие между физическими телами возникает как результат искривления пространства, вызванного находящимися в нем массами. Ее фундаментальные уравнения связывают кривизну пространства, описываемую тензором четвертого порядка (три пространственных координаты и время), с распределением и потоками массы материи. Математически общая теория относительности представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, и потому найти ее аналитическое решение можно только для ряда самых простых случаев.

Первое из таких решений, найденное немецким астрономом и физиком Карлом Шварцшильдом в 1916 г., описывает гравитационное поле вокруг массивных тел, таких как Солнце, в частности – движение планет и распространение солнечных лучей. Предельным случаем этого решения является гравитационный коллапс, приводящий к образованию черных дыр.

Вскоре перед физиками встал вопрос: а может ли общая теория относительности описывать саму Вселенную? Для упрощения вычислений был сформулирован следующий основополагающий космологический принцип: Вселенная однородна (т.е. любой наблюдатель видит сходную картину) и изотропна (по любому

Петроград.

29 мая 1922 года.

направлению Вселенная одинакова). Были выдвинуты и менее важные предположения: что плотность материи одинакова во всех точках пространства, что скорости движущихся тел ничтожны по сравнению со скоростью света и что иного взаимодействия, кроме гравитационного, между телами не существует.

И действительно, куда бы астрономы ни направляли свои телескопы, они всегда видели схожую картину. Кроме того, наибольшие скорости звезд относительно Солнца, известные в то время, были не больше 5 км/с.

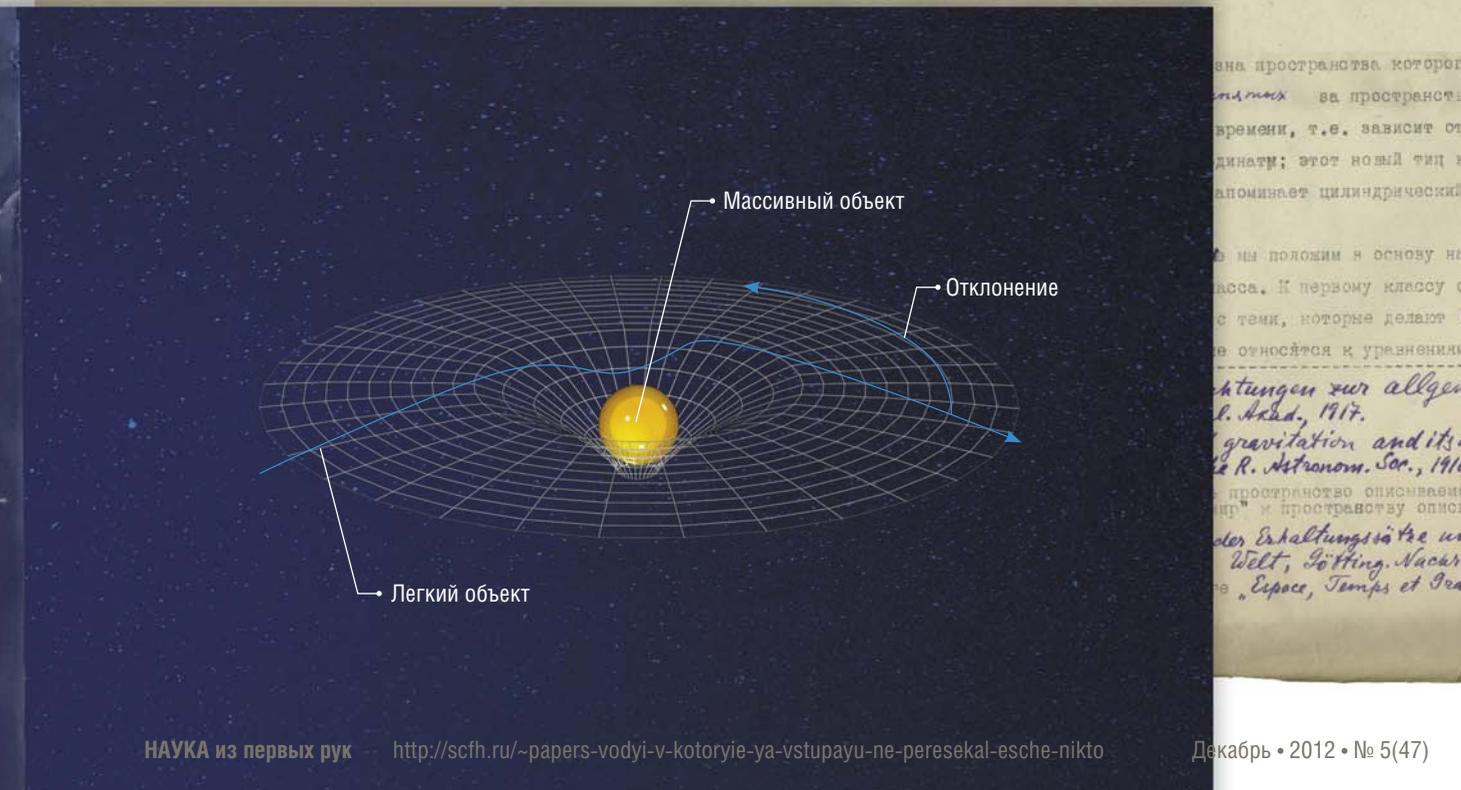
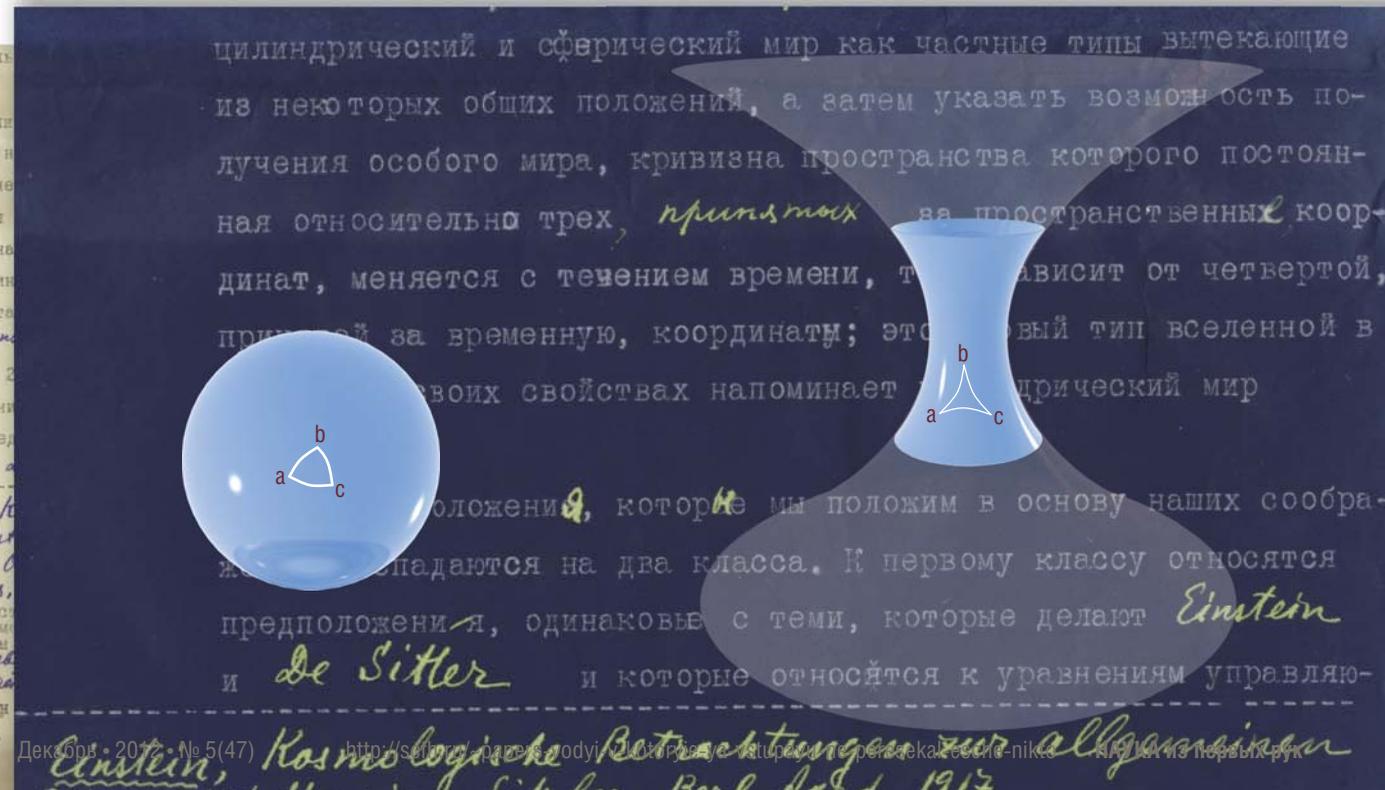
В феврале 1917 г. Эйнштейн находит первое из таких космологических решений: в его модели Вселенная представляется трехмерной гиперсферой постоянного радиуса кривизны, не меняющегося со временем. Для того чтобы Вселенная не схлопывалась под действием сил собственного гравитационного притяжения, Эйнштейн вводит в свои уравнения еще один член

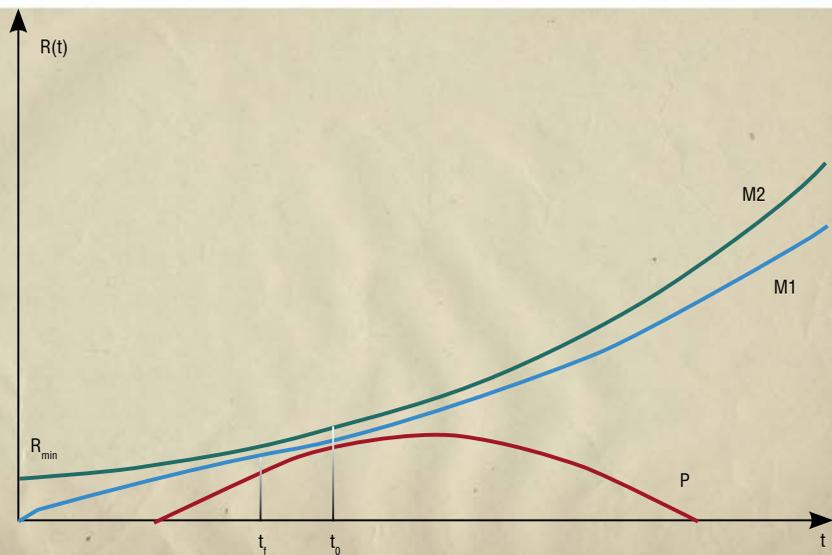
с коэффициентом  $\Lambda$ , названный космологической постоянной. На основе известных на то время астрономических данных его теория оценивала радиус Вселенной в 800 млн световых лет.

Эйнштейну кажется, что цель достигнута. Но второе космологическое решение, найденное нидерландским астрономом Виллемом де Ситтером буквально месяц спустя, действует на Эйнштейна как холодный душ. Вселенная де Ситтера также статична, но в ней каждый наблюдатель окружен своего рода «горизонтом», где время замедляется и даже останавливается. Кроме того, в этой модели Вселенной не были «предусмотрены» такие реалии, как материя и излучение.

Из-за последнего обстоятельства Эйнштейн объявляет модель де Ситтера неприемлемой, поскольку она противоречит принципу Эрнста Маха, гласящему, что инертность и инерция (следовательно, и опирающи-

Искривление пространства расположенными в нем массами можно наглядно продемонстрировать для двумерного случая. Сфера – поверхность, двумерное пространство с положительной кривизной. Расстояние между двумя точками на ней больше, чем расстояние между двумя имеющими те же пространственные координаты точками на плоскости, а сумма углов треугольника больше 180 градусов. Поверхность с отрицательной кривизной изображена ниже – сумма углов треугольника в этом случае меньше 180°, а вот расстояние между точками так же, как и в первом случае, больше, чем для плоского случая. Если пространство имеет положительную кривизну, то его объем конечен, оно замкнуто само на себя, но безгранично. Если отрицательную – оно открыто и его объем бесконечен. Кривизну трехмерного пространства изобразить наглядно сложнее. Если нарисовать в пространстве координатную сетку, то влияние массы приведет к ее искажению. Тело, которое двигалось бы в неискривленном пространстве вдоль прямых линий сетки, в искривленном пространстве будет двигаться также вдоль этих линий, но теперь они будут уже не прямыми





Три возможных главных сценария эволюции космоса, предложенных Фридманом в 1922 г., изображены в виде зависимости космического радиуса от времени. В первом монотонном сценарии,  $M_1$ , Вселенная расширяется из сингулярности с уменьшающейся скоростью до некоторого момента  $t_1$ , затем скорость расширения увеличивается. Настоящее время отмечено на графике линией, проходящей через  $t_0$ . Сценарий  $M_1$  наилучшим образом согласуется с современными астрофизическими наблюдениями. Кривая  $M_2$  соответствует сценарию, когда Вселенная начинает расширяться из состояния с ненулевым начальным радиусом  $R_{min}$ . Периодический сценарий  $P$  соответствует расширению из точки и сжатию обратно в точку.

По: (Physics Today, October 2012, p. 38)

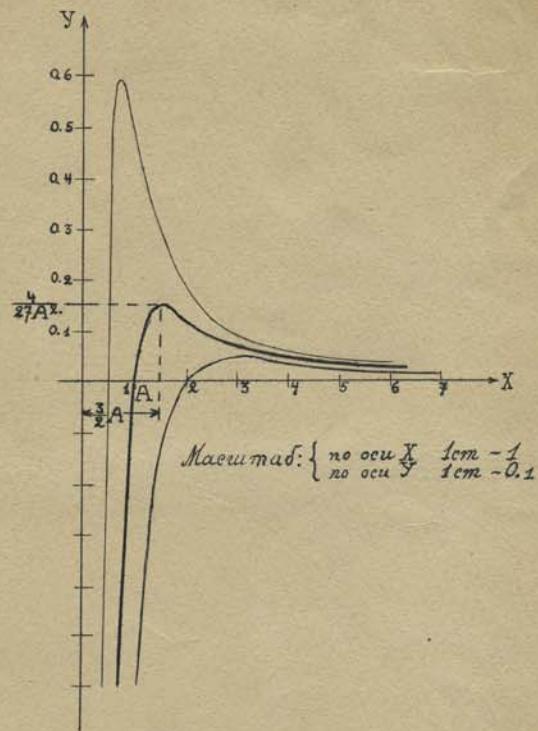


Рисунок из оригинала статьи Фридмана «О кривизне пространства» написанной в 1922 г., с помощью которого А. Фридман иллюстрирует свойства полученных им решений космологических уравнений. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). Instituut-Lorentz, Leiden University

еся на инертные свойства вещества принципы общей теории относительности) не могут существовать без материи. Однако у модели де Ситтера было одно важное достоинство: при замедлении времени у «горизонта» возникает псевдодоплеровский эффект, с помощью которого можно было бы объяснить факт смещения в красную сторону линий в спектре удаленных галактик, открытый в 1914 г. американским астрономом Весто Слайфером (обсерватория Лоуэлла, Аризона).

Де Ситтер оценил радиус Вселенной в 4,5 млн световых лет. Но эта цифра уже тогда казалась невозможно малой, ведь существующий в то время телескоп американской обсерватории Маунт Вильсон был способен различать объекты, находящиеся на расстоянии до 150 млн световых лет!

И все же модель де Ситтера еще долго оставалась в центре внимания космологов. В работах Феликса Клейна, Корнелия Ланцоша и Жоржа Леметра рассматривались ее варианты в зависимости от выбора системы координат: в виде шарового мира (пространство – время) с постоянной положительной кривизной или даже плоского мира с экспоненциально увеличивающимся масштабом пространства. А в 1923–1924 гг. оценка спектрального смещения в модели де Ситтера была улучшена Германом Вейлем и Людвиком Зильберштейном.

Все эти идеи широко обсуждаются вплоть до 1930 г. Участники дискуссии практически не замечают абсолютно новой, революционной идеи, привнесенной аутсайдером из далекого революционного Петрограда.

### Вселенная Фридмана: три сценария эволюции

В своей первой работе, датированной 29 мая 1922 г., Фридман ссылается на описанные выше работы Эйнштейна и де Ситтера. Но вместо того, чтобы выбирать между двумя статическими моделями, он рассматривает задачу поиска космологического решения уравнений общей теории относительности с более общих позиций.

Так же, как и Эйнштейн, Фридман представлял себе пространство в виде трехмерной гиперсферы. Однако в отличие от Эйнштейна он понимал, что однородная и изотропная Вселенная не обязательно должна быть статичной и что радиус кривизны пространства  $R$  может меняться во времени. В этом случае существует два класса решения уравнений общей теории относительности – статические и динамические. К первым относятся модели Эйнштейна и де Ситтера; ко вторым – Фридмана, который приходит к двум обыкновенным дифференциальным уравнениям для радиуса кривизны как функции времени.

А. Фридман  
Профессор Механики Петроградского  
Политехнического Института.  
КОРОТКАЯ, НАПОЛНЕННАЯ ЖИЗНЬ

Большая часть жизни Александра Фридмана прошла в Санкт-Петербурге, где он родился и вырос. Здесь заканчивает гимназию в революционном 1905 г. и в 1906 г. поступает на математический факультет университета. Руководит его диссертацией будущий академик Владимир Андреевич Стеклов. До конца своей жизни Фридман будет обращаться в своих письмах к нему так: «Глубокоуважаемый и дорогой Владимир Андреевич». Еще студентом последних курсов и после окончания университета Фридман посещает домашние семинары Поля Эренфеста, уроженца Вены, переехавшего в Санкт-Петербург в 1907 г. вместе с русской женой. После окончания университета в 1910 г. Фридман занимается математической физикой, в основном приложениями к аэродинамике и метеорологии. Его наставник – известный метеоролог князь Б. Б. Голицын. В 1912 г. Фридман женится на Екатерине Дорофеевой, которая сопровождает его во всех его странствиях до 1924 г.

Начавшаяся в августе 1914 г. Первая мировая война прерывает его научные занятия, и Фридман отправляется добровольцем на австрийский фронт, где служит в авиации, в роли инструктора по баллистике. Он составляет таблицы для прицельного бомбометания, принимает участие в разведывательных полетах. За храбрость во время боевых действий Фридман награжден Георгиевским крестом и произведен в офицеры.

После Февральской революции в России создаются новые университеты в провинции, и Фридман в 1918 г. по рекомендации Стеклова получает свое первое профессорское место в Перми. Там он преподает несколько прикладных дисциплин. В 1919-м эвакуируется с гуманитарной частью университета вместе с отступающей армией Колчака, но вскоре меняет свое решение и в Екатеринбурге поворачивает назад.

В 1920 г. Фридман возвращается в Петроград и начинает работать в геофизической обсерватории, а через пять лет становится ее директором. Основной его интерес в то время сосредоточен на аэродинамике и теории турбулентности. Параллельно он также преподает механику в Петроградском политехническом институте и интересуется общей теорией относительности и квантовой теорией. В 1924 г. Фридман выступает с докладом на I интернациональном конгрессе по механике в Дельфте (Нидерланды), его работами интересуются Леви-Чивита, Курант и другие лучшие математики Европы. Он принимает активное участие в подготовке собрания сочинений

О КРИВИЗНЕ ПРОСТРАНСТВА.

§ I.

I. В своих известных работах посвященных общим космологическим вопросам *Einstein*<sup>х/</sup> и *de Sitter*<sup>хх/</sup> приходят к двум мыслимым типам вселенной; *Einstein* получает так называемый цилиндрический мир, в котором пространство<sup>ххх/</sup> обладает постоянной, не меняющейся с течением времени, кривизной, причем радиус кривизны связывается с общей массой материи, расположенной в пространстве; *de Sitter* получает шаровой мир, в котором уже не только пространство, но и весь мир обладает до известной степени характером мира постоянной кривизны.<sup>ху/</sup> При этом и *Einstein* и *de Sitter* предполагают определенный характер тензора материи, отвечающий гипотезе не связности материи и ее относительному покою<sup>уу/</sup>, иначе говоря достаточной малости скоростей материи по сравнению с фундаментальной скоростью<sup>уу/</sup>, т.е. со скоростью света.

Настоящая заметка имеет своей целью, во первых получить цилиндрический и шаровой мир как частные типы вытекающие из некоторых общих положений, а затем указать возможность получения особого мира, кривизна пространства которого постоянна относительно трех, *примитивных* за пространственных координат, меняется с течением времени, т.е. зависит от четвертой, принятой за временную, координату; этот новый тип вселенной в остальных своих свойствах напоминает цилиндрический мир *Einstein'a*.

2. Предположения, которые мы положим в основу наших соображений разделяются на два класса. К первому классу относятся предположения, одинаковые с теми, которые делают *Einstein* и *de Sitter* и которые относятся к уравнениям управля-

х/ *Einstein, Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, Sitzber. Berl. Akad., 1917.*  
 хх/ *de Sitter, On Einstein's theory of gravitation and its astronomical consequences, Monthly Notices of the R. Astronom. Soc., 1916-1917.*  
 ххх/ Под пространством будем подразумевать пространство описываемое многообразием трех измерений, относим термин "мир" к пространству описываемому многообразием четырех измерений.  
 ху/ См. *Klein, Ueber die Integralform der Erhaltungssätze und die Theorie der räumlich-geschlossenen Welt, Gött. Nachr. 1918.*  
 уу/ См. тот термин у *Eddington'a* в книге "Espace, Temps et Gravitation, 2 partie, p. 10, Paris, 1921.

- II -

... эти цифры могут иметь, конечно, лишь иллюстративное значение.

*А. Фридман*

Профессор Механики Петроградского Политехнического Института.

Участники 1-го Всесоюзного геофизического (Третьего метеорологического) съезда, проходившего с 1 по 25 мая 1925 г. в Москве в аудиториях 1-го Московского университета (ныне – МГУ). А. Фридман – в центре, во втором снизу ряду. Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.).



Справа – последняя страница оригинала статьи «О кривизне пространства» с рукописной подписью А. Фридмана. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). *Instituut-Lorentz, Leiden University*

Первая страница оригинала статьи А. Фридмана «О кривизне пространства», написанной в 1922 г. Переведенная на немецкий, эта работа была опубликована в журнале *Zeitschrift für Physik*, Bd 10, H.6. S. 377—387 в 1922 г. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). *Instituut-Lorentz, Leiden University*

Письмо А. Фридмана П. Эренфесту от 3 июня 1922 г., которым он сопровождает рукопись своей работы «О кривизне пространства» с просьбой опубликовать ее в каком-либо научном журнале. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). *Instituut-Lorentz, Leiden University*

некоторое время быстрое первоначальное расширение замедляется, и с некоторого момента начинается фаза расширения с ускорением, когда радиус Вселенной  $R(t)$  растет экспоненциально со временем. Фридман называет этот сценарий «монотонным миром первого рода» (M1). Его характерная черта – особая точка перехода от фазы замедления к фазе ускорения.

Если же космологическая постоянная меньше той же критической величины, то возможны два сценария. При положительном значении  $\Lambda$  Вселенная в начальный момент имеет конечный радиус, а затем безгранично расширяется с ускорением. Фридман назвал этот сценарий «монотонным миром второго рода» (M2).

*Дорогой Павел Александрович*

Постановил Вам небольшую записку касательно вопроса о возможной форме вселенной более общей, чем цилиндрический мир *Einstein'a* и шаровый мир *de Sitter'a*; кроме этих двух случаев получаются еще мир, пространство которого обладает переменными с течением времени радиусом кривизны; мне кажется, что такого рода вопрос может заинтересовать Вас и *de Sitter'a*. Вобщем же вопрос о посылке Вам немецкий перевод этой записки, если Вы найдете вопрос в ней заслуживающей интереса, то не откажитесь поместить в каком либо журнале. Передайте мой поклон Матвееву Александровичу. Конечно же, в виду неслыханности почты, конверты посылки настоятельно просим.

3 июня 1922г. *Нерешено Вам А. Фридман*

*P.S. Был бы интересен Ваш комментарий по поводу de Sitter'a посылки мне отпечатанной отсылки его работы "On Einstein's theory etc..."; Monthly Notices R. Astr. Soc. за 1917г. если в Москве, но достать отсылку журнала почти невозможно, а конверты отсюда почтой очень трудно.*

*и Кембридж, Главные Петербургские Общества наук Фридману.*

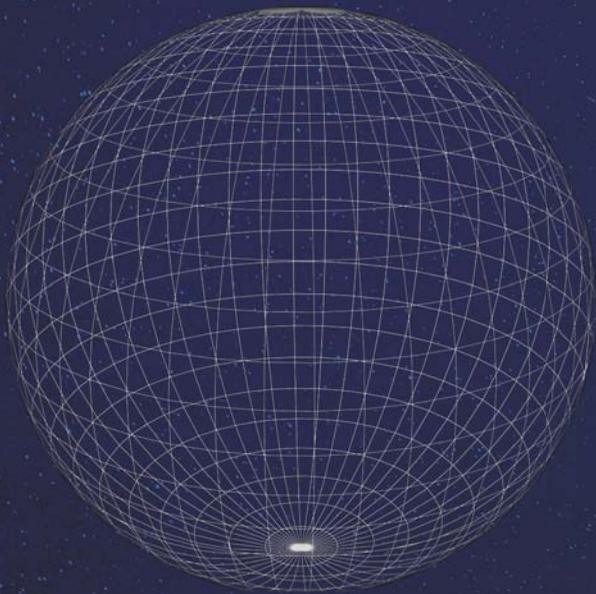
В этом случае радиус кривизны получается путем обращения некоторого эллиптического интеграла, т.е. путем решения относительно  $R$  уравнения:

$$t = \frac{1}{c} \int_{R_0}^R \sqrt{\frac{x}{A-x + \frac{\Lambda}{3c^2}x^3}} dx + t_0$$

В этом выражении,  $R_0$  – это нынешний радиус Вселенной, а  $t_0$  – это «время прошедшее от сотворения мира» (по собственному выражению Фридмана).

Космологическая постоянная  $\Lambda$  так же, как и у Эйнштейна, входит в уравнения Фридмана, но она играет роль независимого параметра, который должен быть определен эмпирически. Оказывается, что в зависимости от соотношения между  $\Lambda$  и средней плотностью вещества во Вселенной возникают три главных сценария эволюции Вселенной.

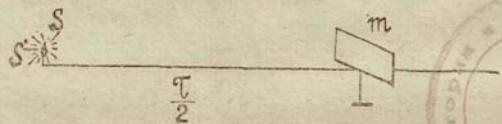
Если космологическая постоянная  $\Lambda$  будет больше некоторой критической величины, зависящей от плотности вещества, то Вселенная возникает из сингулярности (точки), где ее радиус равен нулю. Через



Двумерная сфера, «накрытая» бесконечной обмоткой. Если накручивать обмотку перпендикулярно какой-либо ее оси, то оба полюса остаются «ненакрытыми»

промежуток между двумя совпадающими моментами. Единица измерения избирается определенным образом, в связи со скоростью движения света. Промежуток между двумя моментами, различающимися друг от друга на бесконечно малое физическое местное время, назовем *бесконечно малым промежутком*. Так как нам нужны будут в дальнейшем лишь промежутки между двумя бесконечно близкими моментами, то мы и остановимся лишь на определении их последних.

Для установления понятия о промежутке между двумя бесконечно близкими моментами времени, опишем прежде всего особый инструмент, так называемые, *световые часы*<sup>1)</sup>. Они состоят (см. чертеж 16) из



Черт. 16.

источника света *S*, посылающего луч света по определенному направлению; зеркала *m*, перпендикулярного лучу (правильнее, отражающего луч по направлению, прямо противоположному направлению падающего луча) и могущего быть передвигаемым на любое расстояние  $\frac{c \tau}{2}$  от *S* и, наконец, приемника *S'*, находящегося в той же точке, как и *S*, и регистрирующего

<sup>1)</sup> Световые часы есть идеальный инструмент, совершенно отличный от того, что выше мы назвали часами в данной точке. Часы в данной точке служили нам лишь в качестве вспомогательного прибора, световые часы будут, наоборот, играть существенную роль, связанную с особой ролью, которую играет свет.

Мир, как простр., и вр.

В основе математической формулировки общей теории относительности лежит риманова геометрия или геометрия пространств с произвольной метрикой.

Метрика пространства это функция, при помощи которой можно определить расстояние между двумя бесконечно близкими точками. Например, для евклидовой плоскости она определяется как  $dr^2 = dx^2 + dy^2$ , а для поверхности двумерной сферы радиуса *R* -  $dr^2 = R^2(d\theta^2 + \sin^2\theta \cdot d\varphi^2)$ , где  $\theta$  (широта) и  $\varphi$  (долгота) – угловые координаты на сфере. Аналогично определяется метрика трехмерной сферы: радиус сферы (*R*) может рассматриваться как радиус кривизны пространства. В модели Эйнштейна радиус *R* постоянен, в то время как в модели Фридмана он зависит от времени.

Другой сценарий особенно интересен: он может реализоваться и при отрицательном значении космологической постоянной. В этом случае Вселенная возникает из сингулярности, а затем расширяется. Скорость расширения постоянно уменьшается и через некоторое время она начинает сжиматься со все возрастающей скоростью, пока не схлопывается обратно в сингулярность.

Время жизни такого мира конечно и его существование завершается событием, прямо противоположным Большому взрыву – Большим схлопыванием. Такой мир Фридман назвал периодическим, ведь процесс расширения и схлопывания может происходить бесконечное число раз. Фридман оценил период в 10 млрд световых лет, что на удивление близко к современным оценкам времени, прошедшего с момента Большого взрыва.

Фридман также описывает и два предельных сценария своей модели в случае, когда космологическая постоянная  $\Lambda$  равна критическому значению. В одном из них Вселенная расширяется с замедлением, асимптотически приближаясь к размеру статичной модели Эйнштейна; в другом она начинается с размера статической модели Эйнштейна и затем бесконечно долго «уходит» от него, расширяясь по экспоненте.

Страница 5 из книги А. А. Фридмана «Мир как пространство и время», на которой автор описывает понятие бесконечно малого промежутка времени и предлагает умозрительный способ измерения промежутков времени – «световые часы». Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.)

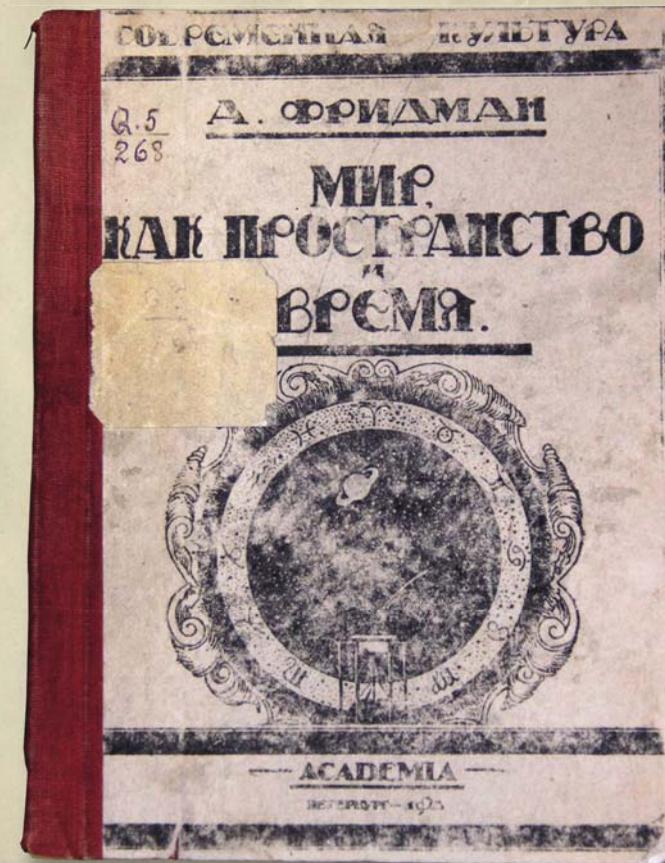


Начало на стр. 11

недавно умершего академика А. М. Ляпунова. О научном энтузиазме и энергии Фридмана говорит такой факт, что в июле 1925 г. он участвует в рискованном полете на стратостате с целью сбора данных о состоянии атмосферы на больших высотах. Достигнув высоты 7400 метров, он сам и пилот Федосеенко оказываются на волосок от гибели из-за нехватки кислорода. Чрезвычайно любопытны воспоминания обоих участников об этом полете, опубликованные уже после смерти Фридмана в журнале «Хочу все знать».

Появившаяся в 1905 г. специальная теория относительности была хорошо известна в России. Но статья Эйнштейна, написанная 1915 г., в которой он сформулировал принципы общей теории относительности, из-за Первой мировой войны дошла до российских ученых с запозданием. Вскоре после окончания войны сообщения об этой теории и о подтверждающих ее наблюдениях Артуром Эддингтоном солнечного затмения в мае 1919 г. наконец дошли до России и были с энтузиазмом восприняты научной общественностью. С 1921 г. возобновляется доставка европейских научных публикаций в Россию и российские ученые получают доступ к необходимой литературе. Кроме того, ценную информацию о новой теории привозит в Петроград физик Всеволод Фредерикс, знавший о ней фактически из первых рук. Во время войны он был интернирован в Германию в качестве «гражданского пленного». По разрешению немецких властей Фредерикс работал в Геттингене ассистентом у Давида Гильберта, сформулировавшего в начале 1916 г. уравнения общей теории относительности независимо от Эйнштейна, и был очень

Обложка книги А. Фридмана «Мир как пространство и время», СПб., издательство ACADEMIA, 1923 г. Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.)



хорошо знаком с ее принципами. В тесном сотрудничестве с Фредериксом Фридман и создает свои основополагающие труды по общей теории относительности. К несчастью, жизнь Александра Фридмана обрывается в самом ее разгаре – в сентябре 1925 г. он заболевает брюшным тифом, по возвращении из Крыма, и после двух недель борьбы с недугом умирает в возрасте 37 лет

А. Фридман  
История Петроградского  
Института.

Фотография здания Главной физической обсерватории (ныне – Департамент Росгидромета по Северо-Западному Федеральному округу), г. Санкт-Петербург. Начало XX в. Фридман стал директором этой обсерватории в 1925 г. Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.)

## Фридман и Эйнштейн

В книге «Мир как пространство и время», увидевшей свет в 1923 г., Фридман суммирует свои результаты, рассказывая о Большом взрыве совершенно современным языком: «Переменный тип Вселенной представляет большое разнообразие случаев; для этого типа возможны случаи, когда радиус кривизны мира, начиная с некоторого значения, постоянно возрастает с течением времени; возможны далее случаи, когда радиус кривизны меняется периодически: Вселенная сжимается в точку (в ничто), затем снова из точки доводит радиус свой до некоторого значения, далее опять, уменьшая радиус своей кривизны, обращается в точку и т. д.

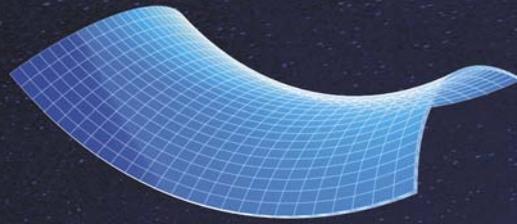
Невольно вспоминается сказание индусской мифологии о периодах жизни, появляется возможность также говорить о «сотворении мира из ничего», но все это пока должно рассматриваться как курьезные факты, не могущие быть солидно подтвержденными недостаточным астрономическим материалом. Бесполезно за отсутствием надежных астрономических данных приводить какие-либо цифры, характеризующие «жизни» переменной Вселенной; если все же начать подсчитывать ради курьеза время, прошедшее от момента, когда Вселенная создавалась из точки, до теперешнего ее состояния, начать определять, следовательно, время, прошедшее от создания мира, то получатся числа в десятки миллиардов наших обычных лет».

В июне 1922 г. Фридман посылает русскоязычный вариант своей работы в Лейден, нидерландском физико-теоретике Паулю Эренфесту, который передает для публикации в центральный немецкий «Физический журнал» (*Zeitschrift für Physik*). На статью, вышедшую в свет в июле 1922 г., обращает внимание сам Эйнштейн, что, впрочем, неудивительно – ведь Эренфест был близким другом создателя теории общей относительности.

Оценка Эйнштейном теории Фридмана как «подозрительной» показала, насколько неприемлемой в то время выглядела для него идея об изменяющейся Вселенной. Правильная, по его мнению, теория должна была подтвердить «очевидное» постоянство космоса.

В сентябре 1922 г. Эйнштейн посылает в *Zeitschrift für Physik* короткую заметку, в которой высказывает предположение, что Фридман допустил математическую ошибку. В ответном письме, датированном декабрем 1922 г., Фридман приводит свои выкладки более подробно. Однако это письмо попадает в руки адресата только в мае следующего года, когда Эйнштейн возвращается из своего лекционного тура вокруг света.

Месяцем позже коллега Фридмана советский физик Юрий Александрович Крутков встречается с Эйнштейном в доме Эренфеста в Лейдене и дает последние разъяснения. Сразу же после этой встречи Эйнштейн



Седло – пример двумерного пространства с отрицательной кривизной. При переходе на одну размерность выше, получается пространство Фридмана отрицательной кривизны

публикует в *Zeitschrift für Physik* еще одно сообщение, в котором признает математические выкладки Фридмана верными. Правда, в черновике он все-таки отмечает, что «решение не имеет физического смысла», но, поразмыслив, вычеркивает неосторожную ремарку.

Тем не менее должно было пройти еще восемь лет, прежде чем Эйнштейн согласился с идеей расширяющейся Вселенной.

## В поиске бесконечной Вселенной

Фридман с самого начала понимал, что геометрию, топологию и кинематику реальной Вселенной невозможно определить, исходя лишь из уравнений общей теории относительности, и что выбор одного из нескольких возможных космологических решений должен основываться на астрономических наблюдениях.

Однако более всего он был озабочен представлением о конечности Вселенной, к тому времени уже прочно укоренившемся в умах физического сообщества благодаря авторитету Эйнштейна. Поэтому в своих работах 1922–23 гг. Фридман настаивает, что локальная метрика пространства сама по себе не может однозначно определять глобальные свойства (и, в частности, конечность) Вселенной. Для начала он предлагает довольно-таки умозрительную алгебротопологическую конструкцию бесконечного пространства со сферической метрикой.

Конструкция из алгебраической топологии была впервые использована в космологии в 1900 г. немецким астрономом Шварцшильдом, а позже, в 1917 г., де Ситтером под именем *эллиптическое пространство* (сейчас более известное как *вещественное проективное пространство*). В любой размерности оно представляет собой гиперболу, в которой точки-антиподы отождествлены. Другими словами, это пространство



А. Эйнштейн и Ж. Леметр. Калифорнийский технологический институт, Пасадена. Январь 1933 г. Архивы Джорджа Леметра, Католический университет Лувена, Центр исследований Земли и климата Дж. Леметра (Лувен-ля-Нёв, Бельгия). Archives Georges Lemaître Université catholique de Louvain Centre de recherche sur le Terre et le climat G. Lemaître Louvain-la-Neuve, Belgique

всевозможных направлений из любой точки евклидова пространства, с размерностью на единицу больше.

Так как на гиперболу любой источник света виден с двух противоположных сторон, то можно вполне ограничиться одной только половиной сферы. Вещественное проективное пространство в нечетных размерностях (в частности, в размерности три) не только сохраняет метрику гиперболы, но и ориентируемо так же, как и сама гиперсфера. Вот только его объем будет в два раза меньше, чем у гиперболы, и масса такой Вселенной будет соответственно в два раза меньше, чем масса сферической Вселенной с той же плотностью материи.

На семинаре Эренфеста Фридман познакомился с теорией накрытий римановых многообразий, кото-

рая была сформулирована Анри Пуанкаре в начале 1900-х гг. Вдохновленный этой теорией, Фридман предлагает вариант бесконечного пространства со сферической метрикой, которое можно получить, «накрывая» гиперболу бесконечным евклидовым пространством той же размерности. В одномерном случае это эквивалентно «накрытию» конечной окружности бесконечной прямой, представляющей собой бесконечно тонкую и бесконечно длинную обмотку окружности. При этом у окружности и у обмотки будет одна и та же метрика, но каждая точка окружности будет «накрыта» бесконечным количеством точек прямой. Однако в случае двух- и трехмерного пространства эта процедура не позволяет получить физически коррек-

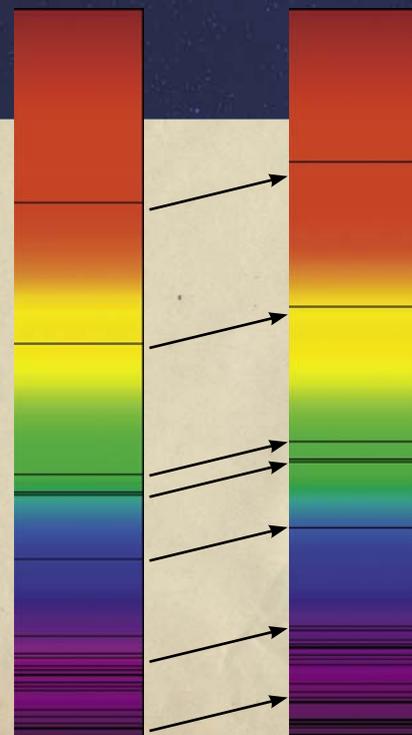


В августе 1914 г., на заседании Американского астрономического общества, Весто Слайфер – американский астроном из обсерватории Лоуэлла (Флагстафф, Аризона), объявил, что из наблюдавшихся им 14 спиральных галактик 11 показывают красное смещение и только 3 – фиолетовое.

Архив Обсерватории Лоуэлла (Флагстафф, Аризона, США). *Lowell Observatory Archives, Flagstaff, Arisona, USA*

тное пространство: полюса гиперсферы остаются при этом не «накрытыми», а в реальной Вселенной такая неоднородность не наблюдается.

Параллельно Фридман выдвигает еще один аргумент против идеи о замкнутом космосе. По предложению своего давнего друга математика Якова Тамаркина он задается вопросом: имеются ли у уравнений общей теории относительности решения в виде бесконечного по объему гиперлобоида с одинаковой отрицательной кривизной в каждой точке пространства?



В результате эффекта Доплера в оптических спектрах удаляющихся от нас галактик наблюдается красное смещение – линии поглощения смещаются в сторону красного спектра

В своей новой статье, опубликованной в *Zeitschrift für Physik* в январе 1924 г., он приводит два таких решения: статическое и динамическое. Статическое решение для пространства с отрицательной кривизной, как и решение де Ситтера, требует нулевой плотности вещества во Вселенной, а значит, не представляет физического интереса. В случае динамического решения плотность материи должна быть такой же, как и в варианте с положительной кривизной. Из чего, например, следует, что невозможно определить знак кривизны пространства на основе одного лишь измерения плотности вещества.

Эта статья Фридмана также была проигнорирована международным физическим сообществом, включая Эйнштейна.

Таблица радиальных скоростей спиральных галактик (знак «+» для удаляющихся от нас, знак «-» для приближающихся к нам), полученных из данных В. Слайфера по смещению спектра галактик в красную или фиолетовую области. Составлена и включена А. Эддингтоном в книгу, вышедшую в 1923 г. Для каждой галактики приведен ее номер по каталогу NGC и экваториальные координаты. В 1927 г. Ж. Леметр использует эти данные вместе с вычисленными Э. Хабблом расстояниями до галактик и получает первую оценку величины постоянной Хаббла. По: (Eddington A. S., *The Mathematical Theory of Relativity, Cambridge U. Press, London, 1923, p. 162*)

### По следам Фридмана: открытия Жоржа Леметра

Дальнейшая судьба теории Фридмана оказалась далеко не «линейной». Вскоре она была переоткрыта заново и обогащена новыми идеями, главные из которых касались «темной материи» и «постоянной Хаббла».

В 1927 г. бельгийский физик и священник Жорж Леметр переоткрывает уравнения Фридмана и решает их. Зная результаты Слайфера относительно преобладания красного смещения в спектре галактик, он приходит к пониманию, что Вселенная, скорее всего, рас-

The most extensive measurements of radial velocities of spiral nebulae have been made by Prof. V. M. Slipher at the Lowell Observatory. He has kindly prepared for me the following table, containing many unpublished results. It is believed to be complete up to date (Feb. 1922). For the nebulae marked (\*) the results have been closely confirmed at other observatories; those marked (†) are not so accurate as the others. The number in the first column refers to the "New General Catalogue," *Memoirs R.A.S.*, vol. 49. One additional nebula N.G.C. 1700 has been observed by Pease, who found a large receding velocity but gave no numerical estimate.

#### RADIAL VELOCITIES OF SPIRAL NEBULAE

+ indicates receding, - approaching

N. G. C.	R. A.	Dec.	Rad. Vel.	N. G. C.	R. A.	Dec.	Rad. Vel.
	h m	° ' "	km. per sec.		h m	° ' "	km. per sec.
221	0 38	+40 26	- 300	4151*	12 6	+39 51	+ 980
224*	0 38	+40 50	- 300	4214	12 12	+36 46	+ 300
278†	0 47	+47 7	+ 650	4258	12 15	+47 45	+ 500
404	1 5	+35 17	- 25	4382†	12 21	+18 38	+ 500
584†	1 27	- 7 17	+1800	4449	12 24	+44 32	+ 200
598*	1 29	+30 15	- 260	4472	12 25	+ 8 27	+ 850
936	2 24	- 1 31	+1300	4486†	12 27	+12 50	+ 800
1023	2 35	+38 43	+ 300	4526	12 30	+ 8 9	+ 580
1068*	2 39	- 0 21	+1120	4565†	12 32	+26 26	+1100
2683	8 48	+33 43	+ 400	4594*	12 36	-11 11	+1100
2841†	9 16	+51 19	+ 600	4649	12 40	+12 0	+1090
3031	9 49	+69 27	- 30	4736	12 47	+41 33	+ 290
3034	9 49	+70 5	+ 290	4826	12 53	+22 7	+ 150
3115†	10 1	- 7 20	+ 600	5005	13 7	+37 29	+ 900
3368	10 42	+12 14	+ 940	5055	13 12	+42 37	+ 450
3379*	10 43	+13 0	+ 780	5194	13 26	+47 36	+ 270
3489†	10 56	+14 20	+ 600	5195†	13 27	+47 41	+ 240
3521	11 2	+ 0 24	+ 730	5236†	13 32	-29 27	+ 500
3623	11 15	+13 32	+ 800	5866	15 4	+56 4	+ 650
3627	11 16	+13 26	+ 650	7331	22 33	+33 23	+ 500
4111†	12 3	+43 31	+ 800				

The great preponderance of positive (receding) velocities is very striking; but the lack of observations of southern nebulae is unfortunate, and forbids a final conclusion. Even if these also show a preponderance of receding velocities the cosmogonical difficulty is perhaps not entirely removed by de Sitter's theory. It will be seen that two† nebulae (including the great Andromeda nebula) are approaching with rather high velocity and these velocities happen to be exceptionally well determined. In the full formula (70·21) there are no terms which under any reasonable conditions encourage motion towards the origin§. It is therefore difficult to account for these motions even as exceptional phenomena; on the other hand an approaching velocity of 300 km. per sec. is about the limit occasionally attained by individual stars or star clusters.

† N. G. C. 221 and 224 may probably be counted as one system. The two approaching nebulae are the largest spirals in the sky.  
§ We are limited to the region in which  $(1 - \frac{2}{3}\lambda r^2)$  is positive since light cannot cross the barrier.

ширяется. Поэтому он называет свою работу «Об однородной Вселенной с постоянной массой и увеличивающимся радиусом». Но вместо того, чтобы рассмотреть всевозможные сценарии, он выбирает предельный случай монотонного мира – M2 по классификации Фридмана, в котором размер Вселенной логарифмически медленно возрастает от радиуса Эйнштейна до бесконечности. Этот сценарий, как потом выяснилось, не является физически состоятельным.

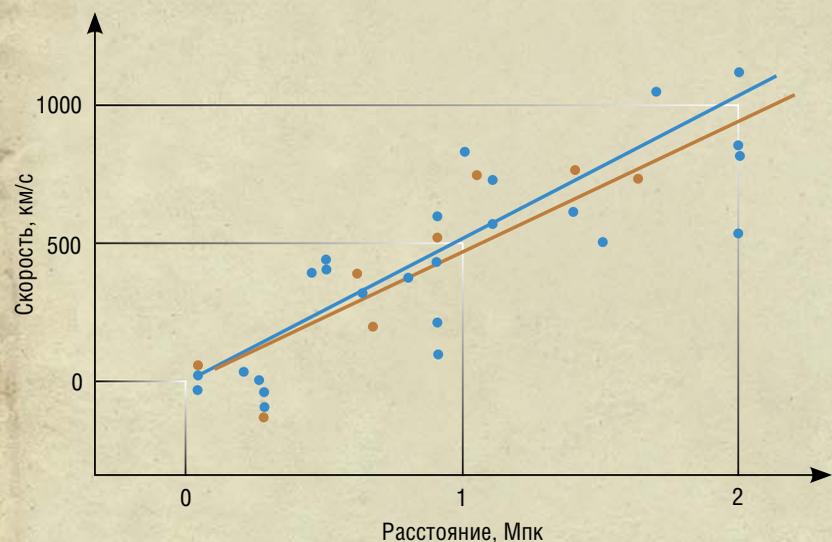
Зато в другом вопросе Леметр идет дальше Фридмана, связав математику с астрономией. Фридман не знал о результатах Слайфера, опубликованных в 1923 г., тогда как Леметр получил их, как говорится, из первых рук: в 1925 г. он много путешествовал по Америке, посещая все астрономические обсерватории.

Петроград.

29 мая 1922 года.

В 1929 г. Э. Хаббл построил график зависимости скорости удаления галактик от расстояния до них и обнаружил, что зависимость носит линейный характер. Синие точки и синяя линия – аппроксимация по индивидуальным галактикам, входящим в рассмотренные Хабблом скопления. Коричневые точки и коричневая линия – галактики, сгруппированные по принципу близости расположения в космическом пространстве.

По: (PNAS, March 15, 1929, vol. 15, no. 3, p. 168–173)



### Великий перелом: звездный час Эдвина Хаббла

Леметр делает элегантную оценку величины «красного смещения» из своей теории и выводит важное соотношение:

$$\frac{v}{r} = \frac{\dot{R}}{R}$$

где  $v$  – скорость галактики,  $r$  – расстояние до нее,  $R$  – радиус кривизны пространства и  $\dot{R}$  – скорость изменения радиуса кривизны.

Поскольку в модели Леметра радиус увеличивается со временем почти по экспоненте, то правая часть уравнения близка к постоянной величине. Это означает, что скорости галактик должны быть пропорциональны расстоянию до них с одним и тем же постоянным коэффициентом. Леметр сравнивает скорости 42-х спиральных галактик, вычисленные Слайфером, с расстояниями до них, определенными американским астрономом Эдвином Хабблом, и получает искомую постоянную, равную 625 км/сек/Мпк.

Выбери Леметр другой сценарий расширения Вселенной – от сингулярности, он мог бы оценить «время от сотворения мира». Но в результате оценивает лишь то, что может, т. е. первоначальный радиус Вселенной.

Леметра, опубликовавшего свои открытия в малоизвестном журнале Бельгийской академии наук, ждала судьба Фридмана: никто из корифеев, даже его бывший учитель Артур Эддингтон, не проявляет интереса к его идеям. На конференции в Сольвее в 1927 г. Эйнштейн сообщил Леметру, что Фридман уже получил эти решения раньше, и назвал идею расширяющейся Вселенной «abominable» (буквально: «отвратительной»).

В 1929 г. Хаббл оценивает с помощью специальной техники расстояния до 46 галактик и, располагая на графике их скорости, полученные Слайфером, в зависимости от своих расстояний до них, обнаруживает, что полученные точки лежат достаточно близко от прямой. Наклон этой прямой, вычисленный как 530 км/сек/Мпк (сплошная прямая на графике), и получает название постоянной Хаббла.

На заседании Английского астрономического общества в январе 1930 г. Эддингтон и де Ситтер признают, что модель де Ситтера не в состоянии объяснить обнаруженную линейную зависимость между расстояниями до галактик и их скоростями. Тогда Леметр обращает внимание Эддингтона на свою работу 1927 г., и тот воспринимает идею расширяющейся Вселенной как откровение. Следующим был де Ситтер, заявивший, что «наконец-то пелена спала с его глаз».

Дольше всех противится новой теории Эйнштейн, но и его мнение постепенно меняется, чему способствуют публикация результатов Хаббла и найденное Эддингтоном в том же году доказательство неустойчивости статического решения самого Эйнштейна, даже при наличии положительной космологической постоянной.

В начале 1931 г. Эйнштейн отправляется в калифорнийскую обсерваторию Маунт Вильсон, чтобы лично поговорить с Хабблом и обсудить его результаты. Вернувшись в Берлин, он пишет работу, где признает теорию расширения Вселенной, отмечая приоритет Фридмана, и предлагает исключить из общей теории относительности своего давнего «недруга» – космологическую постоянную  $\Lambda$ .



Ж. Леметр со своим учителем А. Эддингтоном, Стокгольм, 1938 г.

Архивы Джорджа Леметра, Католический университет Лувена, Центр исследований Земли и климата Дж. Леметра (Лувен-ля-Нёв, Бельгия). Archives Georges Lemaître, Université catholique de Louvain, Centre de recherche sur le Terre et le climat G. Lemaître, Louvain-la-Neuve, Belgique

До открытия того факта, что расширение Вселенной происходит с ускорением, оставалось еще почти столетие. Неудивительно, что Эйнштейн полагал, что модель расширяющейся Вселенной – решение, вытекающее из теории Фридмана при нулевом значении космологической постоянной, является единственным верным описанием Вселенной.

В аппендиксе «О космологической проблеме», добавленном к основному тексту своего известного сборника лекций «The Meaning of Relativity» (1946), Эйнштейн отметит: «...математик Фридман нашел способ ре-

шить эту проблему [космологической постоянной]. Его результаты нашли неожиданное подтверждение в открытом Хабблом расширении звездной системы\*. Дальнейшее изложение есть не что иное, как изложение идеи Фридмана...». И затем на 15 страницах Эйнштейн подробно объясняет теорию Фридмана.

В 1932 г. Эйнштейн и де Ситтер напишут совместную работу, где предложат исключить из общей теории относительности не только космологическую постоянную, но и идею об искривленной Вселенной, предлагая рассматривать только плоскую модель. Именно такая модель и станет основной для теории расширяющейся Вселенной на целые десятилетия вперед, и почти до конца века учебники по космологии будут разве что в примечаниях обсуждать модели с ненулевой космологической постоянной.

\* К сожалению, Эйнштейн приписал это достижение единолично Э. Хабблу, хотя реально оно принадлежит, как минимум, нескольким ученым, главным образом В. Слайферу.

С другой стороны, с помощью астрономических наблюдений пока не удалось обнаружить ни одного доказательства того, что Вселенная в космических масштабах отличается от неискривленного евклидова пространства. Однако не исключено, что более точные измерения еще выявят ее положительную или отрицательную кривизну, предсказанную Фридманом.

## По сценарию Фридмана

В конце своей книги Фридман (1923 г.) напишет: «Теория Эйнштейна оправдывается на опыте; она объясняет старые, казавшиеся необъяснимыми явления и предвидит новые поразительные соотношения. Вернейший и наиболее глубокий способ изучения при помощи теории Эйнштейна геометрии мира и строения нашей Вселенной состоит в применении этой теории ко всему миру и в использовании астрономических исследований. Пока этот метод немного может дать нам, ибо математический анализ складывает свое оружие перед трудностями вопроса, и астрономические исследования не дают еще достаточно надежной базы для экспериментального изучения нашей Вселенной. Но в этих обстоятельствах нельзя не видеть затруднений временных; наши потомки, без сомнения, узнают характер Вселенной, в которой мы обречены жить...»

Сам Фридман особенно выделял периодический мир. Циклические рождения и исчезновения Вселенной напоминали ему философские идеи о реинкарнации, идущие из Индии и Древней Греции. Но благодаря авторитету Эйнштейна среди космологов с 1930-х гг. главным фаворитом стала плоская Вселенная, расширяющаяся до бесконечности с замедлением (т.к. при отсутствии космологической постоянной ничто не противодействует силе гравитации, препятствующей ускорению плоского мира).

Правда, уже с 1980-х гг. среди теоретиков стали раздаваться голоса в пользу подхода Леметра, утверждавшего, что космологическая постоянная  $\Lambda$  помогает разрешить ряд трудностей, стоящих перед теорией. И все же полученные в 1998–1999 гг. результаты астрономических наблюдений оказались настоящим сюрпризом для научного сообщества.

Изучая яркость сверхновых звезд класса 1a, удаленных от нас на 5 млрд световых лет, две независимые команды астрономов во главе с тремя будущими лауреатами Нобелевской премии Солом Перлмуттером, Адамом Риссом и Брайаном Шмидтом – обнаружили ускорение Вселенной за этот период. Это означало, что периодический мир Фридмана должен быть отвергнут. Кроме того, обе группы выяснили, что космологическая постоянная достаточно велика, и установили соотношение количества энергии материи (включая темную

материю) и темной энергии в теперешней Вселенной, равное 30 % и 70 %, соответственно.

Однако эти результаты еще не давали возможности точно определить, какой из двух монотонных сценариев Фридмана реализуется – с сингулярностью или с конечным радиусом Вселенной в начале времен.

Сделать этот выбор удалось благодаря особенности первого сценария, состоявшей в том, что ускорение расширения Вселенной сначала уменьшается, а затем растет. Если принять возраст Вселенной в 13,75 млрд лет, как это определяется из современного значения постоянной Хаббла, и соотношением между энергией материи и темной энергией, то оказывается, что точка перемены знака ускорения отстоит от нас на 5,5 млрд световых лет.

В 2004 г. команде Рисса удалось измерить расстояние до сверхновой звезды, вспыхнувшей в эпоху замедления расширения Вселенной, которая удалена от нас на 8 млрд световых лет. Эти результаты свидетельствуют, что примерно  $5 \pm 1$  млрд световых лет назад замедление расширения Вселенной действительно сменилось ускорением.

Таким образом, первым к финишу пришел сценарий монотонного мира М1 Фридмана.

## Кто первый?

После публикации сенсационных астрономических результатов в 1998–1999 гг. историки науки начали спор о приоритете в открытии теории Большого взрыва. После непродолжительной дискуссии в «финал» вышли Леметр и Хаббл, причем последний считался фаворитом – именно ему одному приписывалась идея расширяющейся Вселенной. Но неожиданно выяснилось, что сам Хаббл никогда не верил в эту теорию.

В центр дискуссии попала одна загадочная история. Статья Леметра 1927 г. была переведена в 1931 г. и напечатана в журнале Английского астрономического общества, однако в этой перепечатке был опущен большой, размером со страницу, фрагмент с выводом постоянной Хаббла из астрономических данных. Возникло мнение, что именно Хаббл лично или через друзей был цензором статьи Леметра. Однако недавно была доказана полная несостоятельность этой версии: было найдено письмо Леметра к редактору английского журнала, в котором он сам соглашается удалить этот кусок, как устаревший (Livio, 2011).

Но историки уже объявили Леметра автором постоянной Хаббла и победителем в споре за титул первооткрывателя. И действительно, заслуги этого выдающегося ученого неоспоримы. После четырех лет колебаний и сомнений Леметр все же перенимает идею Фридмана о рождении Вселенной из сингулярности и в 1934 г. пытается придать ей физический смысл,



А. Эйнштейн и Э. Хаббл рядом со 100-дюймовым телескопом в обсерватории Маунт Вильсон, Южная Калифорния. Январь 1931 г. Калифорнийский технологический институт (Пасадена, США). Courtesy of the Archives, California Institute of Technology

говоря о «взрыве изначального атома», впоследствии иронически окрещенного Ф. Хойлем как «Big Bang» (буквально «Большой взрыв»).

Кроме того, несмотря на авторитет Эйнштейна, Леметр до конца своей жизни последовательно защищал необходимость космологической постоянной для общей теории относительности, придавая ей пока не вполне ясный статус «темной энергии» или «энергии вакуума».

Однако в своей первой статье Леметр фактически упустил из поля зрения вариант развития Вселенной по сценарию Большого взрыва. Переоткрыв уравнения Фридмана, он тем не менее не рассмотрел все классы их возможных решений, сфокусировавшись лишь на одном из них, на предельном варианте мира М2 с конечным начальным радиусом Вселенной и бесконечно долгим расширением до нынешнего радиуса. Но даже и это решение он получил, предполагая, что космологическая постоянная имеет некоторое критическое значение, зависящее от плотности вещества во Вселенной.

Потому вызывает недоумение, что историки науки Гарри Нуссбаумер и Лидия Бьери недавно сделали вывод, что «Леметр ничем не обязан Фридману» (Nussbaumer & Bieri, 2009, с. 111). И действительно,

«ничем», кроме как пониманием того, что космологическая постоянная – это независимый параметр, и что Вселенная родилась из сингулярности!

По иронии судьбы теория Большого взрыва вскоре после ее признания Эйнштейном оказалась пасынком в научном мире из-за неточности ранних попыток определить значение постоянной Хаббла. В несколько раз занизив оценки расстояний до удаленных галактик, Хаббл получил и соответственно меньший возраст Вселенной. Даже Эйнштейн в свои последние годы жизни отчаялся найти выход из этого парадокса: по геологическим данным возраст Земли оценивался в 4 млрд лет, а по космологическим данным возраст самой Вселенной не превышал 1,7 млрд лет.

И лишь в 1950-е гг., уже после смерти Хаббла и Эйнштейна, астрономы Вальтер Бааде и Аллан Сандаж из обсерватории Паломар (Южная Калифорния, США) заново обработав результаты наблюдений Хаббла, понизили оценку постоянной Хаббла в восемь раз и во столько же раз повысили возраст Вселенной. Теория Большого взрыва опять стала фаворитом в научном мире.

Добавим, что и вклад самого Хаббла в эмпирическую проверку теории расширяющейся Вселенной сейчас подвергается переоценке со стороны астрономов – в пользу Слайфера.

предположени я, одинаковые с теми, которые делают

и *de Sitter* и которые относятся к уравнениям управл

*Einstein, Kosmologische Betrachtungen zur allgemeine Relativitätstheorie, Sitzber. Berl. Akad., 1917.*

*de Sitter, On Einstein's theory of gravitation and its astron Monthly Notices of the R. Astronom. Soc., 1916-1917.*

- 5 -

Я буду писать *Thirring* и буду его просить прислать мне оттиск его статьи, но боюсь, что он не обратит внимание на мою маленькую просьбу. Может быть, при случае, Вы попросите его послать мне работы, указав, что у меня они будут лежать не совсем даром. Мне известно, впрочем затруднить Вас, так что я не надеюсь на исполнение моей просьбы.

Соображения II раздела суть пока лишь фантазии и на них Вам не стоит мне отвечать. Если у меня в этом направлении что либо получится, я опять напишу Вам.

Дорогой Павел Семимурдович, я знаю что Вы очень занятый, но все же не откажитесь черкнуть мне, могу ли я посоветовать Вам письмо (написанное на машинке) аналогичное настоящему.

Кремлевские коммунальные Тамары Алексеевны. Если когда либо надумаете приехать в Петроград (теперь это легко сделать в виде увеселительной прогулки), то, конечно, мой квартирка всегда к Вашим услугам, равно как и я сам.

Искренне Вам

*А. Фридман*

Мой адрес для писем: Петроград, Главная Пушкинская Всероссийская, Вас. Осип. 23 мн. Д. 2.

Живу я на В. О. Билибин Д. 36 кв. 13.

Страница из письма А. Фридмана П. Эренфесту в Лейден от 15 июня 1922 г. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). Instituut-Lorentz, Leiden University

*А. Фридман*

Профессор Механики Петроградского Политехнического Института.

Петроград.

29 мая 1922 года.

Историки Хелге Краг и Роберт Смит (Kragh, Smith 2008) представляют Фридмана чистым математиком, не придававшим большого значения физическому смыслу своих открытий. Но эта точка зрения опровергается хотя бы его значительными достижениями в аэродинамике и метеорологии. Сборник его избранных трудов 1966 г. и широкий круг проблем, которые он там решает, не оставляет сомнений, что Фридман всегда искал физическое подтверждение своим теориям. Только его преждевременная смерть в возрасте 37 лет не дала ему возможности быть первым, кто связал воедино космологическую теорию и эмпирические данные, и способствовала последующей недооценке его вклада в современную космологию.

По воспоминаниям Екатерины Фридман, ее муж любил цитировать строку из Данте: «Воды, в которые я вступаю, не пересекал еще никто». И действительно, как философ космологии Фридман на голову выше всех остальных участников дебатов 1920-х гг., включая Эйнштейна. Известно, что в конце жизни Эйнштейн называл космологическую постоянную «своей величайшей ошибкой», имея в виду тот факт, что согласно Фридману теория расширяющейся Вселенной могла бы в принципе обойтись и без нее.

В советской литературе теория Большого взрыва долгое время величалась не иначе как «реакционной теорией Леметра». В таких условиях советским физикам было просто опасно отстаивать приоритет Фридмана: они стали открыто выступать в защиту достижений Фридмана только после смерти Сталина. Это изменило отношение к его достижениям и со стороны западных ученых, и с 1970-х гг. в учебниках по космологии уравнения и метрику Фридмана стали называть его именем.

Самый горячий сторонник Фридмана физик-теоретик Я. Зельдович подчеркивает, насколько трудным было то время, когда Фридман совершал свои открытия: «Работы Фридмана опубликованы в 1922–1924 гг., в период больших трудностей. «Россия во мгле» – вот впечатление Герберта Уэллса о Москве и Петрограде 1921 г. В том же номере [немецкого] журнала, где опубликована работа Фридмана [1922 г.], помещено обращение к немецким ученым: собрать научную литературу для русских коллег, которые были отрезаны от нее во время войны и революции. В этих условиях создание теории огромного значения было подвигом не только научным, но и общечеловеческим».

#### Литература

Фридман А. А. Избранные Труды / Серия «Классики Науки» / АН СССР, 1966.

*The Accelerating Universe (Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2011) / Class for Physics of the Royal Swedish Academy of Sciences.*

*Belenskiy A. Alexander Friedmann and the origins of modern cosmology // Physics Today. 2012. № 65(10). P. 38–43.*

*Einstein A. The Meaning of Relativity. Princeton University Press. Third edition with an appendix (1946), Fourth edition with further appendix (1950), Fifth edition (1951), Six Edition (2004).*

*Eddington A. S. The Mathematical Theory of Relativity. London: Cambridge U. Press, 1923.*

*Kragh H., Smith R. W. Who discovered the expanding universe? // History of Science. 2003. № 41. P. 141–162.*

*Livio M. Lost in translation: Mystery of the missing text solved // Nature. 2011. № 479. P. 171–173.*

*Nussbaumer H., Bieri L. Discovering the Expanding Universe. CUP, 2009.*

*Perlmutter S. Supernovae, Dark Energy, and the Accelerating Universe // Physics Today. 2003. № 56(4). P. 53–60.*

*Tropp E. A. et al. Alexander A. Friedmann: The Man Who Made the Universe Expand. Cambridge University Press, 1993, 2006.*

Тропп Э.А. и др. Александр Александрович Фридман. Жизнь и деятельность. Киев: КомКнига, 2006. 304 с.

Автор выражает признательность Алексею Кожевникову (Alexei Kojevnikov, UBC) за обсуждения истории вопроса, Карло Бинаккери (Carlo Beenakker, Leiden University) из университета Лейдена за публикацию писем Фридмана Эренфесту, Сабине Лер (Sabine Lehr, Springer DE) из издательства Шпрингер за точные даты публикаций Фридмана и Эйнштейна, Галине Житлиной (Richmond BC) за помощь в подготовке текста к публикации

Редакция благодарит за помощь в оперативном получении фотографий и прав на их публикацию Лилиан Мозен (Liliane Moens) (Архивы Джорджа Леметра, Католический университет Лувена, Центр исследований Земли и климата Дж. Леметра, Лувен-ля-Нев, Бельгия); Карло Бинаккери (Carlo Beenakker) (Институт Лоренца, Лейденский университет, Лейден, Нидерланды), Лорен Амундсон (Lauren Amundson) (Архив Обсерватории Лоуэлла, Флагстафф, Аризона, США), В.М. Катцова и Е.Л. Махоткину (Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)



# МАКРОФАГ

*многоликий и вездесущий*

Сто тридцать лет назад замечательный русский исследователь И.И. Мечников в опытах на личинках морских звезд из Мессинского пролива сделал удивительное открытие, круто изменившее не только жизнь самого будущего Нобелевского лауреата, но и перевернувшее тогдашние представления об иммунной системе.

Втыкая в прозрачное тело личинки розовый шип, ученый обнаружил, что занозу окружают и атакуют крупные амeboидные клетки. И если чужеродное тело было небольшим, эти блуждающие клетки, которые Мечников назвал фагоцитами (от греч. *Фаγος* – пожиратель), могли полностью поглотить пришельца. Долгие годы считалось, что фагоциты выполняют в организме функции «войск быстрого реагирования». Однако исследования последних лет показали, что благодаря своей огромной функциональной пластичности эти клетки еще и «определяют погоду» многих метаболических, иммунологических и воспалительных процессов, как в норме, так и при патологии. Это делает фагоциты перспективной мишенью при разработке стратегии лечения ряда тяжелых заболеваний человека

*Ключевые слова:* макрофаг, липидные сенсоры, фенотип, фармакологическая стратегия.  
*Key words:* macrophage, lipid sensors, phenotype, pharmacological strategy

© М.И. Душкин, 2012

ДУШКИН Михаил Иванович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией молекулярно–клеточных механизмов терапевтических заболеваний Института терапии СО РАМН (Новосибирск). Автор и соавтор более 100 научных работ и 3 патентов



**П**одвижные клетки иммунной системы – фагоциты или макрофаги, присутствуют практически во всех тканях организма. Они осуществляют активный захват, переваривание и обезвреживание чужеродных микроорганизмов (вирусов, бактерий, одноклеточных, паразитов), а также утилизацию биологического «мусора», такого как «невысвобожденные» и погибшие клетки (например, «стареющие» эритроциты).

В зависимости от своего микроокружения тканевые макрофаги могут выполнять и различные специализированные функции. Например, макрофаги костной ткани – остеокласты, также занимаются выведением из кости гидроксиапатита кальция. При недостаточности этой функции развивается мраморная болезнь – кость становится чрезмерно уплотненной и при этом хрупкой.

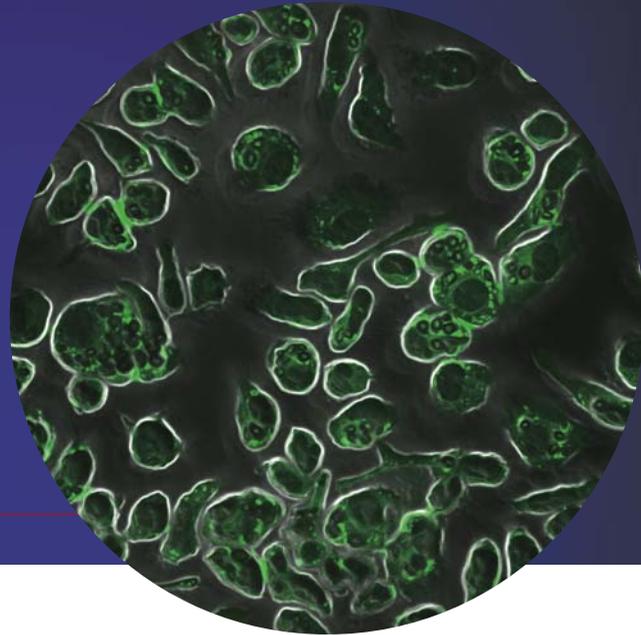
Но самым, пожалуй, удивительным свойством макрофагов оказалась их огромная пластичность, т.е. способность изменять свою транскрипционную программу («включение» тех или иных генов) и свой облик (фенотип). Следствием этой особенности является высокая разнородность клеточной популяции макрофагов, среди которых присутствуют не только «агрессивные» клетки, встающие на защиту организма-хозяина; но и клетки с «полярной» функцией, отвечающие за процессы «мирного» восстановления поврежденных тканей.

## Липидные «антенны»

Своей потенциальной «многоликостью» макрофаг обязан необычной организации генетического материала – так называемому открытому хроматину. Этот не до конца изученный вариант структуры клеточного генома обеспечивает быстрое изменение уровня экспрессии (активности) генов в ответ на различные стимулы.

Выполнение макрофагом той или иной функции зависит от характера получаемых им стимулов. Если стимул будет распознан как «чужой», то происходит активация тех генов (и соответственно функций) макрофага, которые направлены на уничтожение «пришельца». Однако макрофаг могут активировать и сигнальные молекулы самого организма, которые побуж-

Так выглядят под флуоресцентным микроскопом макрофаг/пенистые клетки, полученные при введении бактериального полисахарида. Зеленые липидные включения, окрашенные специальным красителем, могут занимать более половины клеточной цитоплазмы



дают эту иммунную клетку участвовать в организации и регуляции обмена веществ. Так, в условиях «мирного времени», т. е. при отсутствии патогена и обусловленного им воспалительного процесса, макрофаги участвуют в регуляции экспрессии генов, отвечающих за метаболизм липидов и глюкозы, дифференцировку клеток жировой ткани.

Интеграция между взаимоисключающими «мирным» и «военным» направлениями работы макрофагов осуществляется путем изменения активности рецепторов клеточного ядра, представляющих собой особую группу регуляторных белков.

Среди этих ядерных рецепторов следует особо выделить так называемые липидные сенсоры, т. е. белки, способные взаимодействовать с липидами (например, окисленными жирными кислотами или производными холестерина) (Смирнов, 2009). Нарушение работы этих чувствительных к липидам регуляторных белков в макрофагах может быть причиной системных обменных нарушений. Например, дефицит в макрофагах одного из этих ядерных рецепторов, обозначаемых

как PPAR-гамма, приводит к развитию диабета 2 типа и дисбалансу липидного и углеводного обмена во всем организме.

### Клеточные метаморфозы

В разнородном сообществе макрофагов на основе базовых характеристик, определяющих их принципиальные функции, выделяют три основных клеточных субпопуляции: макрофаги M1, M2 и Mox, которые участвуют, соответственно, в процессах воспаления, восстановления поврежденных тканей, а также защите организма от окислительного стресса.

«Классический» макрофаг M1 формируется из клетки-предшественника (моноцита) под действием каскада внутриклеточных сигналов, запускающихся после распознавания инфекционного агента с помощью специальных рецепторов, расположенных на поверхности клетки.

Образование «пожирателя» M1 происходит в результате мощной активации генома, сопровождаемой

активацией синтеза более чем сотни белков – так называемых факторов воспаления. К ним относятся ферменты, способствующие генерации свободных радикалов кислорода; белки, привлекающие в очаг воспаления другие клетки иммунной системы, а также белки, способные разрушать оболочку бактерий; воспалительные цитокины – вещества, обладающие свойствами активировать иммунные клетки и оказывать токсическое действие на остальное клеточное окружение. В клетке активируется фагоцитоз и макрофаг начинает активно разрушать и переваривать все, что встретится на его пути (Шварц, Свистельник, 2012). Так появляется очаг воспаления.

Однако уже на начальных этапах воспалительного процесса макрофаг M1 начинает активно секретировать и противовоспалительные субстанции – низкомолекулярные липидные молекулы. Эти сигналы «второго эшелона» начинают активировать вышеупомянутые липидные сенсоры в новых «рекрутах»-моноцитах, прибывающих в очаг воспаления. Внутри клетки запускается цепь событий, в результате которых активирующий сигнал поступает на определенные регуляторные участки ДНК, усиливая экспрессию генов, отвечающих за гармонизацию обмена веществ и одновременно подавляя активность «провоспалительных» (т. е. провоцирующих воспаление) генов (Душкин, 2012).

Так в результате альтернативной активации образуются макрофаги M2, которые завершают воспалительный процесс и способствуют тканевому восстановлению. Популяцию M2 макрофагов можно, в свою очередь, раз-

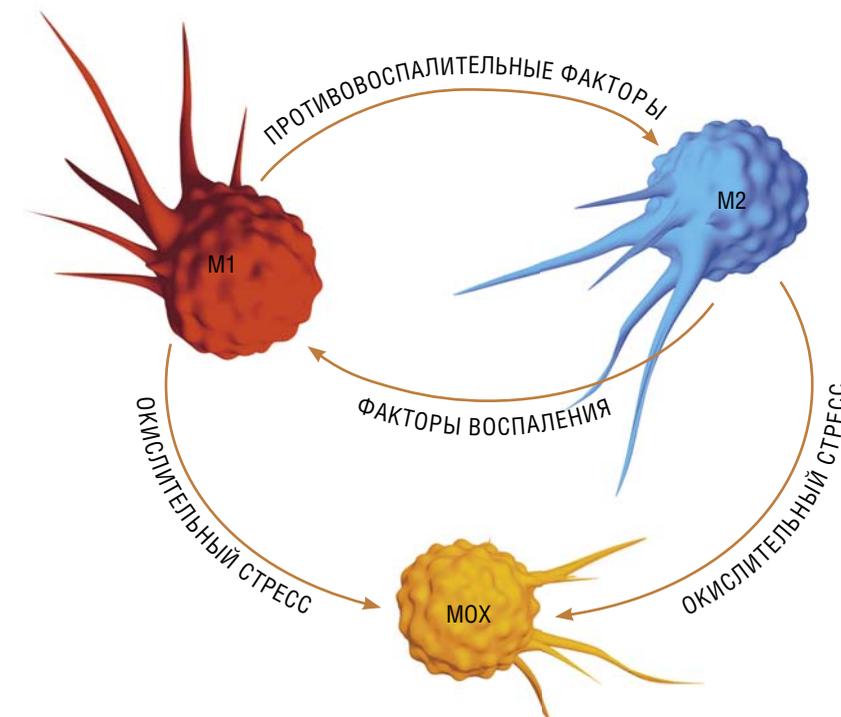
делить на группы в зависимости от их специализации: уборщики мертвых клеток; клетки, участвующие в реакции приобретенного иммунитета, а также макрофаги, секретирующие факторы, которые способствуют замещению погибших тканей соединительной тканью.

Еще одна группа макрофагов – Mox, формируется в условиях так называемого окислительного стресса, когда в тканях возрастает опасность повреждения их свободными радикалами. Например, Mox составляют около трети всех макрофагов атеросклеротической бляшки. Эти иммунные клетки не только сами устойчивы к повреждающим факторам, но и участвуют в антиоксидантной защите организма (Gui *et al.*, 2012).

### Пенистый камикадзе

Одной из самых интригующих метаморфоз макрофага является его превращение в так называемую пеннистую клетку. Такие клетки были обнаружены в атеросклеротических бляшках, а свое название получили из-за специфического внешнего вида: под микроскопом они напоминали мыльную пену. По сути, пеннистая клетка – это тот же макрофаг M1, но переполненный жировыми включениями, преимущественно состоящими из водонерастворимых соединений холестерина и жирных кислот.

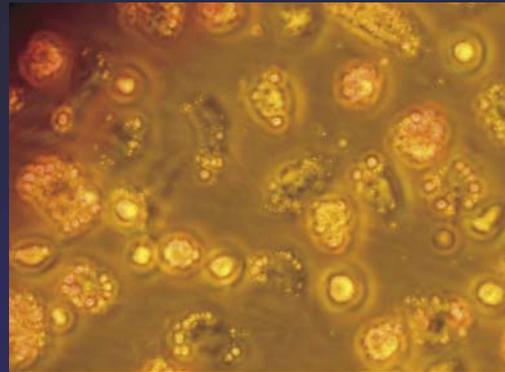
Была высказана гипотеза, ставшая общепринятой, что пеннистые клетки образуются в стенке атеросклеротических сосудов в результате неконтролируемого поглощения макрофагами липопротеинов низкой



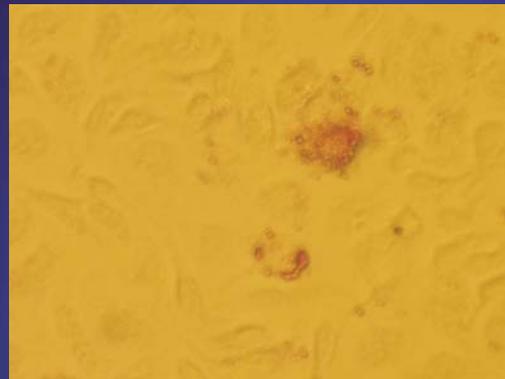
В зависимости от своего микроокружения макрофаги могут радикально менять свой фенотип, каждый раз исполняя в прямом смысле «полярные» функции. M1 макрофаги защищают организм от инфекционных агентов, M2 курируют процессы восстановления поврежденных тканей, а Mox макрофаги участвуют в антиоксидантной защите организма

ФАЗЫ ВОСПАЛЕНИЯ

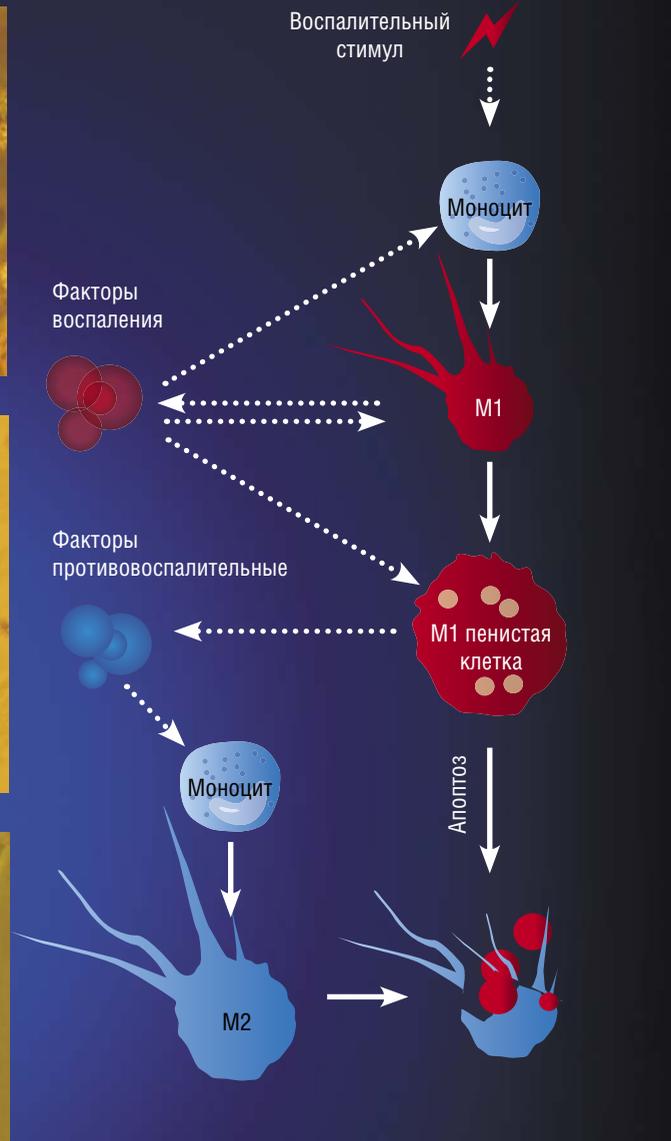
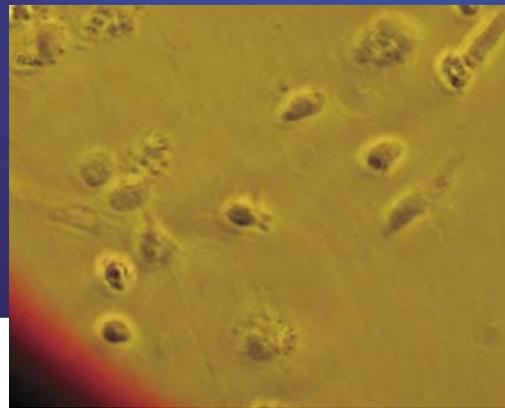
I. Присутствует большое число макрофагов, в том числе пенистые клетки



II. Число пенистых клеток уменьшается



III. Пенистые клетки отсутствуют



Макрофаги образуются из клеток-предшественников (моноцитов) уже в самые первые часы воспаления, вызванного определенным стимулом (например, бактерией). Макрофаги M1 и пенистые клетки начинают продуцировать провоспалительные факторы и кислородные метаболиты и активно захватывать «чужеродные» молекулы. На 1—3-е сутки воспалительного процесса пенистые клетки начинают секретировать противовоспалительные факторы, которые активируют липидные сенсоры моноцитов, мигрирующих из русла крови в очаг воспаления. Так образуются макрофаги M2. Сами пенистые клетки погибают в ходе запрограммированной клеточной смерти (апоптоза) и поглощаются макрофагами M2. Это сигнал о завершении воспаления (5-е сутки). На фото – фазово-контрастная микроскопия клеток, полученных из перитонеальной полости мышей при воспалении

плотности, переносящих «плохой» холестерин. Однако впоследствии было обнаружено, что накопление липидов и драматическое (в десятки раз!) возрастание скорости синтеза ряда липидов в макрофагах можно спровоцировать в эксперименте только лишь одним воспалением, без всякого участия липопротеинов низкой плотности (Душкин, 2012). Это предположение подтвердилось клиническими наблюдениями: оказалось, что превращение макро-

фагов в пенистую клетку происходит при разнообразных заболеваниях воспалительной природы: в суставах – при ревматоидном артрите, в жировой ткани – при диабете, в почках – при острой и хронической недостаточности, в ткани мозга – при энцефалитах. Однако понадобилось около двадцати лет исследований, чтобы понять, как и зачем макрофаг при воспалении превращается в клетку, нафаршированную липидами.

Оказалось, что активация провоспалительных сигнальных путей в M1 макрофагах приводит к «выключению» тех самых липидных сенсоров, которые в нормальных условиях контролируют и нормализуют липидный обмен (Душкин, 2012). При их «выключении» клетка и начинает накапливать липиды. При этом образующиеся липидные включения представляют собой вовсе не пассивные жировые резервуары: входящие в их состав липиды обладают способностью усиливать воспалительные сигнальные каскады. Главная цель всех этих драматических изменений – любыми средствами активировать и усилить защитную функцию макрофага, направленную на уничтожение «чужих» (Melo, Drogak, 2012).

Однако высокое содержание холестерина и жирных кислот дорого обходится пенистой клетке – они стимулируют ее гибель путем апоптоза, запрограммированной клеточной смерти. На внешней поверхности мембраны таких «обреченных» клеток обнаруживается фосфолипид фосфатидилсерин, в норме расположенный внутри клетки: появление его снаружи является своеобразным «похоронным звоном». Это сигнал «съешь меня», который воспринимают M2 макрофаги. Поглощая апоптотные пенистые клетки, они начинают активно секретировать медиаторы заключительной, восстановительной стадии воспаления.

### Фармакологическая мишень

Воспаление как типовой патологический процесс и ключевое участие в нем макрофагов является, в той или иной мере, важной составляющей в первую очередь инфекционных заболеваний, вызванных различными патологическими агентами, от простейших и бактерий до вирусов: хламидиальные инфекции, туберкулез, лейшманиоз, трипаносомоз и др. Вместе с тем макрофаги, как уже упоминалось выше, играют важную, если не ведущую, роль в развитии так называемых метаболических заболеваний: атеросклероза (главного виновника сердечно-сосудистых заболеваний), диабета, нейродегенеративных заболеваний мозга (болезнь Альцгеймера и Паркинсона, последствия инсультов и черепно-мозговых травм), ревматоидного артрита, а также онкологических заболеваний.

Разработать стратегию управления этими клетками при различных заболеваниях позволили современные

знания о роли липидных сенсоров в формировании различных фенотипов макрофага.

Так, оказалось, что в процессе эволюции хламидии и туберкулезные палочки научились использовать липидные сенсоры макрофагов, чтобы стимулировать не опасную для них альтернативную (в M2) активацию макрофагов. Благодаря этому поглощенная макрофагом туберкулезная бактерия может, купаясь как сыр в масле в липидных включениях, спокойно дожидаться своего освобождения, а после гибели макрофага размножиться, используя содержимое погибших клеток в качестве пищи (Melo, Drogak, 2012).

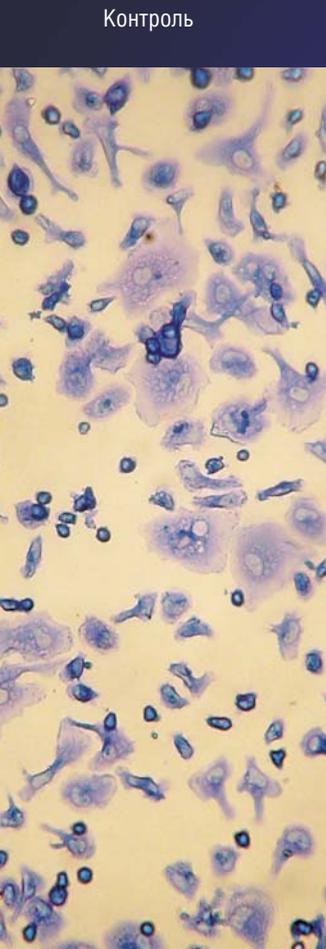
Если в этом случае использовать синтетические активаторы липидных сенсоров, которые препятствуют образованию жировых включений и, соответственно, предотвращают «пенистую» трансформацию макрофага, то можно подавить рост и понизить жизнеспособность инфекционных патогенов. По крайней мере в экспериментах на животных уже удалось в разы снизить обсемененность легких мышей туберкулезными бактериями, используя стимулятор одного из липидных сенсоров или ингибитор синтеза жирных кислот (Lugo-Villarino *et al.*, 2012).

Еще один пример – такие болезни, как инфаркт миокарда, инсульт и гангрена нижних конечностей, опаснейшие осложнения атеросклероза, к которым приводит разрыв так называемых нестабильных атеросклеротических бляшек, сопровождаемый моментальным образованием тромба и закупоркой кровеносного сосуда.

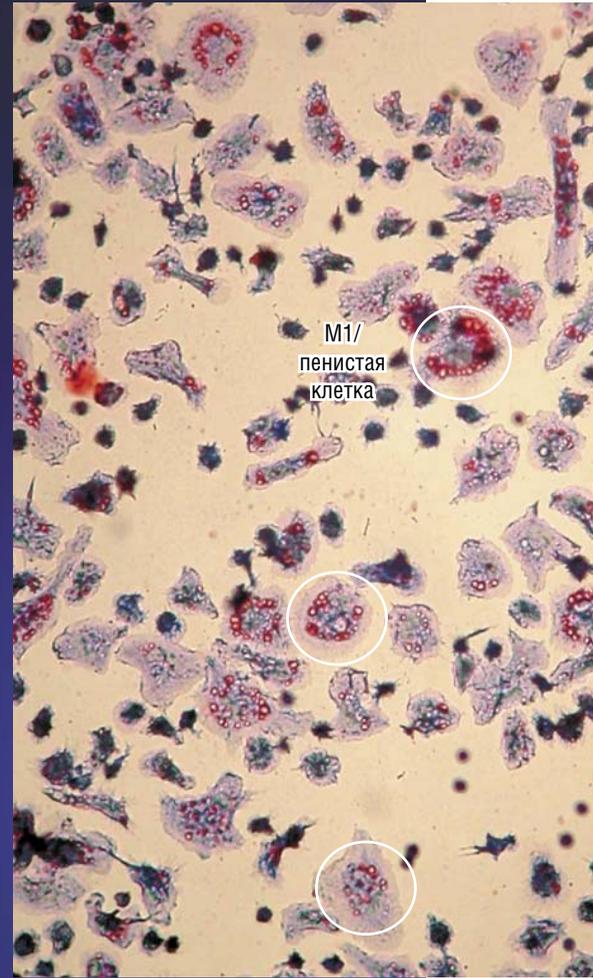
Формированию таких нестабильных атеросклеротических бляшек и способствует макрофаг M1/пенистая клетка, который продуцирует ферменты, растворяющие коллагеновое покрытие бляшки. В этом случае наиболее эффективная стратегия лечения – превращение нестабильной бляшки в стабильную, богатую коллагеном, для чего требуется трансформировать «агрессивный» макрофаг M1 в «умиротворенный» M2.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что подобной модификации макрофага можно добиться, подавляя в нем продукцию провоспалительных факторов. Такими свойствами обладает ряд синтетических активаторов липидных сенсоров, а также природные вещества, например, куркумин – биофлавоноид, входящий в состав корня куркумы, хорошо известной индийской пряности.

Нужно добавить, что такая трансформация макрофагов актуальна при ожирении и диабете 2 типа (большая часть макрофагов жировой ткани имеет M1 фенотип), а также при лечении нейродегенеративных заболеваний мозга. В последнем случае в мозговых тканях происходит «классическая» активация макрофагов, что приводит к повреждению нейронов и накоплению токсичных веществ. Превращение M1-агрессоров



Контроль



Обработка зимозаном

Вопреки первоначальной гипотезе, макрофаг/пенистая клетка, наполненная жировыми включениями, может формироваться даже при низкой концентрации липопротеинов – для этого достаточно лишь воспалительного процесса. Введение в перитонеальную полость мышей стимулятора воспаления зимозана, полученного из оболочек дрожжевых клеток, вызывает драматическое возрастание скорости синтеза неполярных липидов и их предшественников – жирных кислот и холестерина, которые и образуют липидные включения в макрофагах

того, такие макрофаги начинают подавлять противораковый иммунный ответ лимфоцитов. Поэтому для лечения уже образовавшихся опухолей разрабатывается другая стратегия, основанная на стимулировании у макрофагов признаков классической M1-активации (Solinas *et al.*, 2009).

Примером такого подхода служит технология, разработанная в новосибирском Институте клинической иммунологии СО РАМН, при которой макрофаги, полученные из крови онкобольных, культивируют в присутствии стимулятора зимозана, который накапливается в клетках. Затем макрофаги вводят в опухоль, где зимозан освобождается и начинает стимулировать классическую активацию «опухолевых» макрофагов.

Сегодня становится все более очевидно, что соединения, вызывающие метаморфозы макрофагов, оказывают выраженное атеропротективное, антидиабетическое, нейропротективное действие, а также

защищают ткани при аутоиммунных заболеваниях и ревматоидном артрите. Однако такие препараты, имеющиеся на сегодня в арсенале практикующего врача, – фибраты и производные тиазолидона, хотя и снижают смертность при этих тяжелых заболеваниях, но при этом имеют выраженные тяжелые побочные действия.

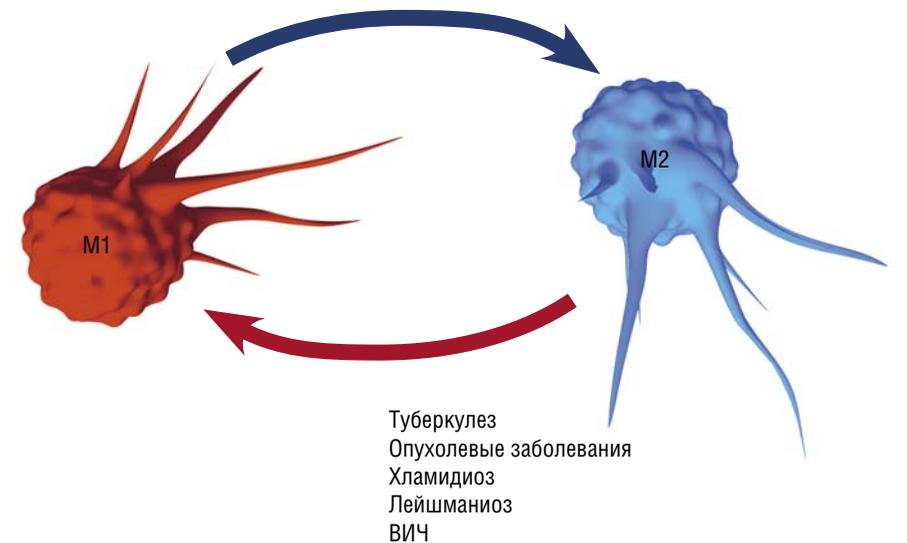
Эти обстоятельства стимулируют химиков и фармакологов к созданию безопасных и эффективных аналогов. За рубежом – в США, Китае, Швейцарии и Израиле уже проводятся дорогостоящие клинические испытания подобных соединений синтетического и природного происхождения. Несмотря на финансовые трудности, российские, в том числе и новосибирские, исследователи также вносят свой посильный вклад в решение этой проблемы.

Так, на кафедре химии Новосибирского государственного университета было получено безопасное соединение TS-13, стимулирующее образование Мох фагоцитов, которое обладает выраженным противовоспалительным эффектом и оказывает нейропротективное действие в экспериментальной модели болезни Паркинсона (Дюбченко и др., 2006; Зенков и др., 2009).

В Новосибирском институте органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН созданы безопасные антидиабетические и противоатеросклеротические препараты, действующие сразу на несколько факторов, благодаря которым «агрессивный» макрофаг M1 превращается в «мирный» M2 (Dikalov *et al.*, 2011). Большой интерес вызывают и растительные препараты, получаемые из винограда, черники и других растений с помощью механохимической технологии, разработанной в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН (Dushkin, 2010).

С помощью финансовой поддержки государства можно в самое ближайшее время создать отечественные средства для фармакологических и генетических манипуляций с макрофагами, благодаря которым появится реальная возможность превращать эти иммунные клетки из агрессивных врагов в друзей, помогающих организму сохранить или вернуть здоровье.

Атеросклероз  
Диабет  
Нейродегенеративные заболевания  
Аутоиммунные заболевания  
Ревматоидный артрит

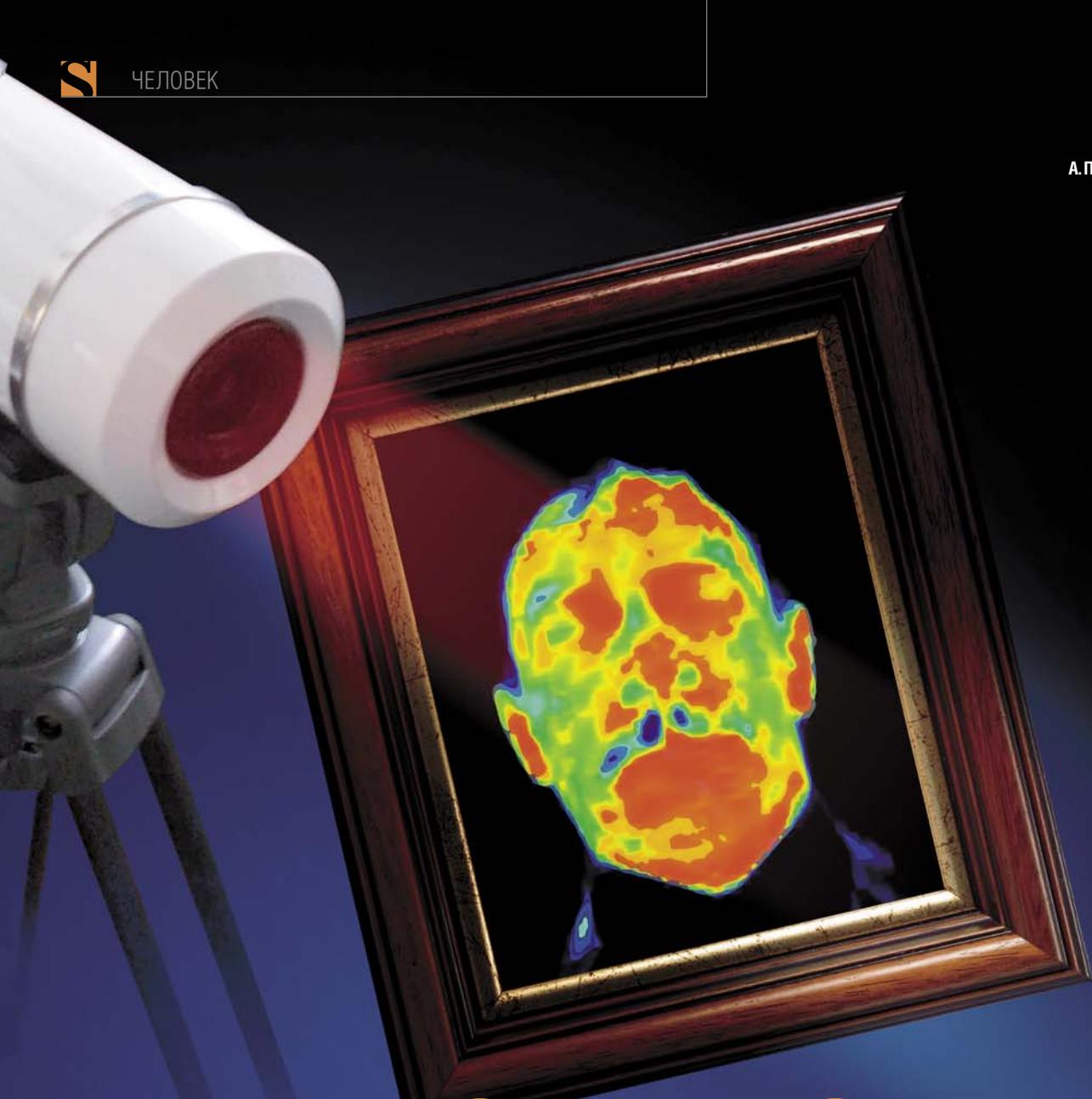


Стратегия управления фенотипом макрофага при различных заболеваниях различна: в одних случаях (например, при диабете и других метаболических заболеваниях), необходимо способствовать уменьшению количества «агрессивных» макрофагов M1 и увеличению «мирных» макрофагов M2. При заболеваниях же инфекционной природы и опухолях требуется, наоборот, увеличить число макрофагов-пожирателей M1

*Литература*

Душкин М.И. Макрофаг/пенистая клетка как атрибут воспаления: механизмы образования и функциональная роль // *Биохимия*, 2012. Т. 77. С. 419–432.  
Смирнов А.Н. Липидная сигнализация в контексте атерогенеза // *Биохимия*. 2010. Т. 75. С. 899–919.  
Шварц Я.Ш., Свистельник А.В. Функциональные фенотипы макрофагов и концепция M1-M2-поляризации. Ч. 1 Провоспалительный фенотип. // *Биохимия*. 2012. Т. 77. С. 312–329

А. П. КОВЧАВЦЕВ



# ТЕПЛОВИЗОР: лучше один раз увидеть

© А. П. Ковчавцев, 2012

*Известно, что человеческий глаз может регистрировать электромагнитное излучение лишь в узком диапазоне длин волн, относящихся к видимому свету. Спектр же излучаемых различными объектами фотонов гораздо шире. Много полезных и интересных деталей можно увидеть, если «посмотреть» на живые и неживые объекты в инфракрасном свете. Такие инфракрасные изображения можно получить с помощью специальных приборов – тепловизоров, которые помогают не только наглядно представить процессы изменения температуры различных тел и измерить ее с высокой точностью, но даже диагностировать заболевания на ранних этапах их возникновения*

Удивительно, но первые датчики, реагирующие на инфракрасное излучение, появились еще в 1830 г. В них использовались термопары, которые преобразовывали тепло в электрическое напряжение. Спустя столетия были открыты терморезистивные материалы, сопротивление которых зависит от температуры, и с их использованием были разработаны датчики излучений – болометры.

В 1920 г. появились фотонные датчики излучений (фотоспротивления и фотодиоды) на основе полупроводниковых материалов, в которых падающие кванты излучения непосредственно преобразуются в электрический сигнал. Такие датчики имели уже более высокую чувствительность и быстродействие. А в 1944 г. были созданы фотоприемники на основе сульфида свинца, которые были чувствительны в спектральном диапазоне 1,5–3 мкм.

До середины прошлого века спектральную область чувствительности датчиков удалось расширить до средней инфракрасной области (3–5 мкм), используя датчики на основе антимонида индия, а затем, в 1960-х гг., – и до дальней инфракрасной области (8–14 мкм), при этом использовались датчики на основе сплава кадмий-ртуть-теллур.

Именно с применением таких полупроводниковых фотонных приемников были разработаны современные тепловизионные камеры, которые широко применяются для визуализации в инфракрасной области спектра самых разных объектов.

Первоначально инфракрасное изображение получали с помощью одиночного датчика, сканируя исследуемый объект при помощи вращающихся призм по вертикали и горизонтали. В более поздних разработках стали использоваться многоэлементные датчики излучений – линейки и матрицы.

## Наглядно и точно

Появление тепловизоров открыло перед учеными новые возможности в исследовании тепловых процессов. Этот прибор позволяет визуализировать распределения температуры, давая наглядную и, что важно, точную информацию о степени нагрева различных участков изучаемого объекта. А увидев собственными глазами целостную картину происходящих изменений, можно лучше и быстрее понять физический смысл происходящего.

В качестве иллюстрации рассмотрим динамику падения капли нагретой (до 38 °С) воды на поверхность воды комнатной температуры. Трудно представить, какой другой метод исследований, помимо инфракрасного, смог бы дать более подробную картину этого достаточно сложного и быстрого процесса, занимающего не более 0,2 с.

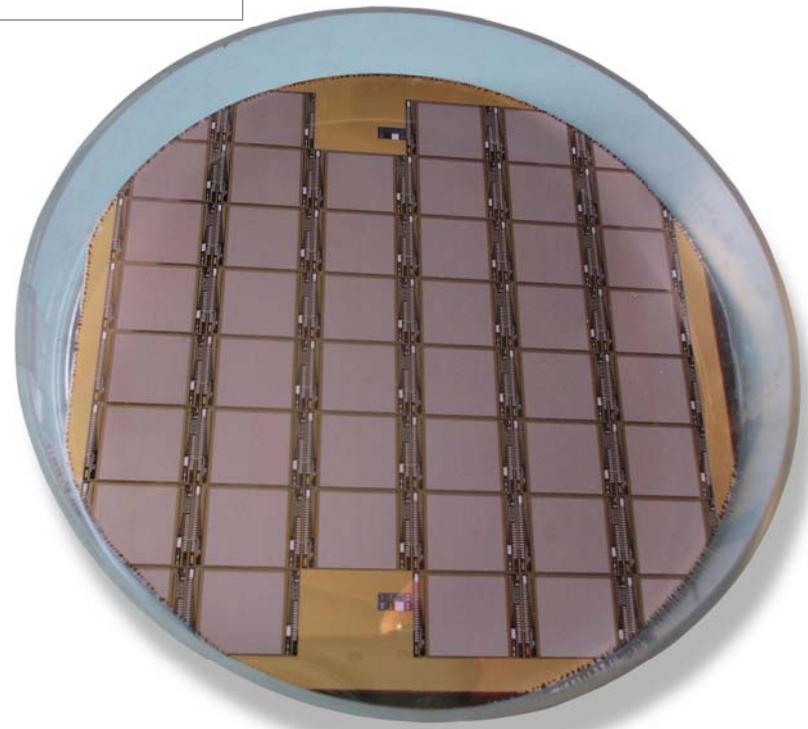


КОВЧАВЦЕВ Анатолий Петрович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микроэлектроники Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (Новосибирск). Автор более 110 научных работ

**Ключевые слова:** микроэлектроника, измерение температуры, интегральные схемы, медицинская диагностика.  
**Key words:** microelectronics, temperature measuring, integral circuit, medicine testing



Тепловизор «Свит» был разработан под руководством заведующего лабораторией микроэлектроники Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова, д. ф.-м. н., профессора Г. Л. Курышева (1945 — 2012 гг.). С 1990-х гг. он активно занимался фотоэлектроникой, а именно — созданием многоэлементных фотоприемных устройств ближнего и среднего инфракрасного диапазонов, среди которых, помимо «Свита», важно отметить инфракрасный микроскоп высокого пространственного разрешения и спектрометр на основе линейчатых фотоприемных устройств



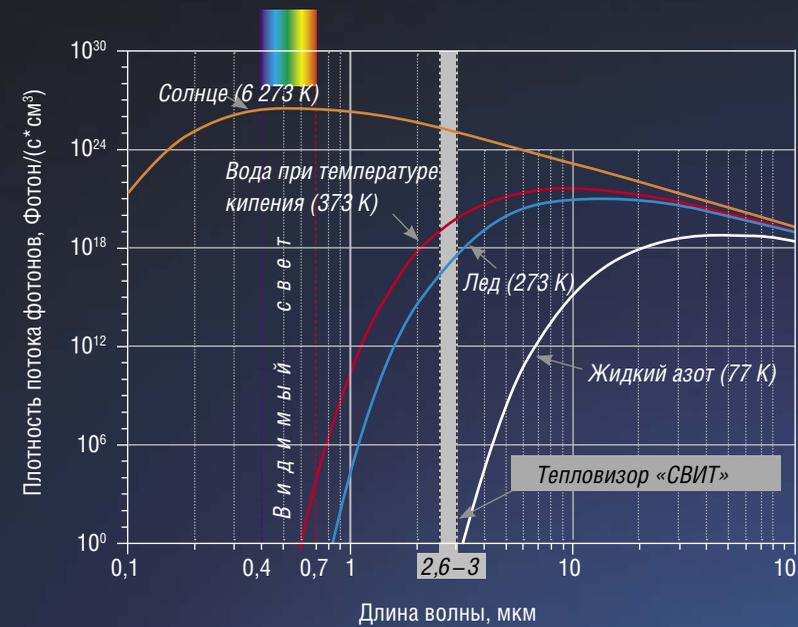
Кремниевые мультиплексоры - важная часть чувствительной к инфракрасному излучению матрицы тепловизора «Свит». Они представляют собой интегральные схемы, собранные на едином кристалле, и предназначены для сбора, усиления и предварительной обработки сигналов матрицы чувствительных к ИК излучению датчиков. В процессе сборки мультиплексоры присоединяются к матрице при помощи холодной сварки. На рисунке — мультиплексоры в заводской сборке, на монолитной технологической пластине

Итак, сначала от кончика пипетки отрывается сферическая теплая капля воды, окруженная тонкой, более холодной водяной оболочкой. По мере падения поверхность капли остывает. Примерно через 0,1 с капля встречается с холодной водой: ее холодная оболочка разрушается, однако внутри капля остается нагретой. В дальнейшем над частью упавшей капли образуется водяной султан, от которого отделяется мелкая капелька, которая движется вверх и также остывает. В какой-то момент эта «дочерняя» капля зависает и ее поверхность нагревается благодаря теплопроводности воды, поскольку внутри капелька остается теплой. Падая, она остывает, но даже при встрече с поверхностью воды тепловизор «видит» ее нагретую сердцевину. Исследование поведения нагретой капли — хорошая модельная задача, очень полезная при изучении теплофизики и гидродинамики струйных течений и формирования эмульсий.

Еще один интересный эффект можно наблюдать при впитывании капли воды комнатной температуры в сухую ткань. При этом в начальный момент видна только ровная, однородно нагретая поверхность ткани. Затем вокруг капли появляется температурный ореол (красное кольцо), температура которого на 6 °С выше температуры середины капли. Ореол смещается по ткани вместе с фронтом впитываемой воды и существует лишь непродолжительное время.

Наблюдаемый нагрев связан с выделением теплоты адсорбции в капиллярах ткани. Эффект будет тем сильнее, чем выше будет впитывающая

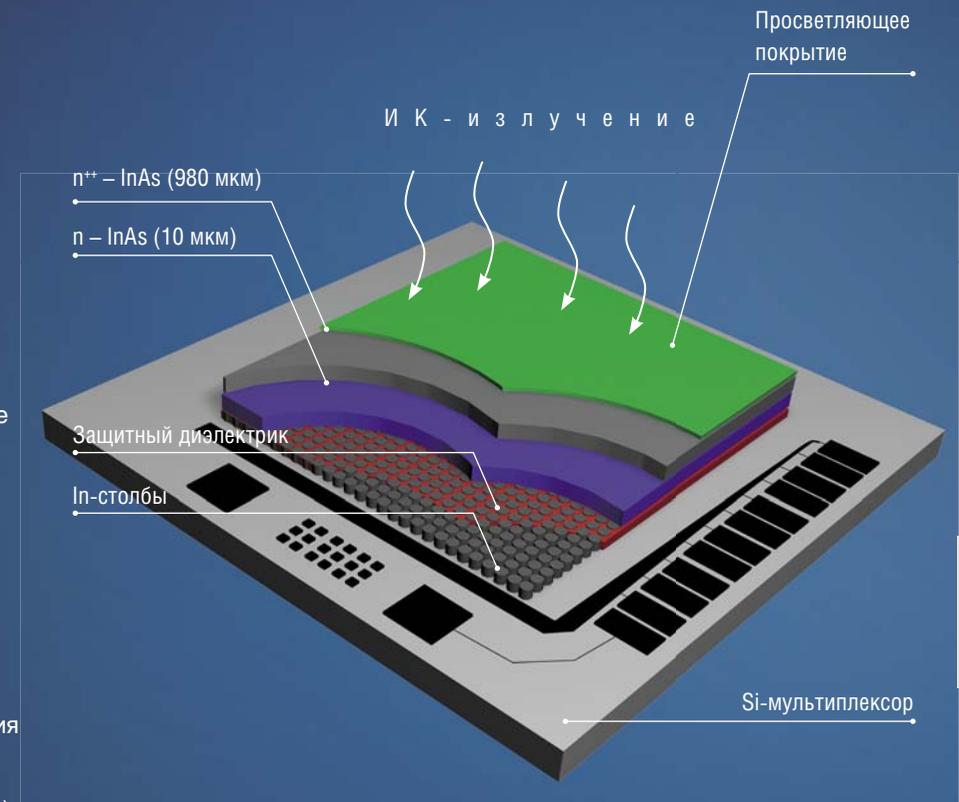
Спектр излучения тел с различной температурой

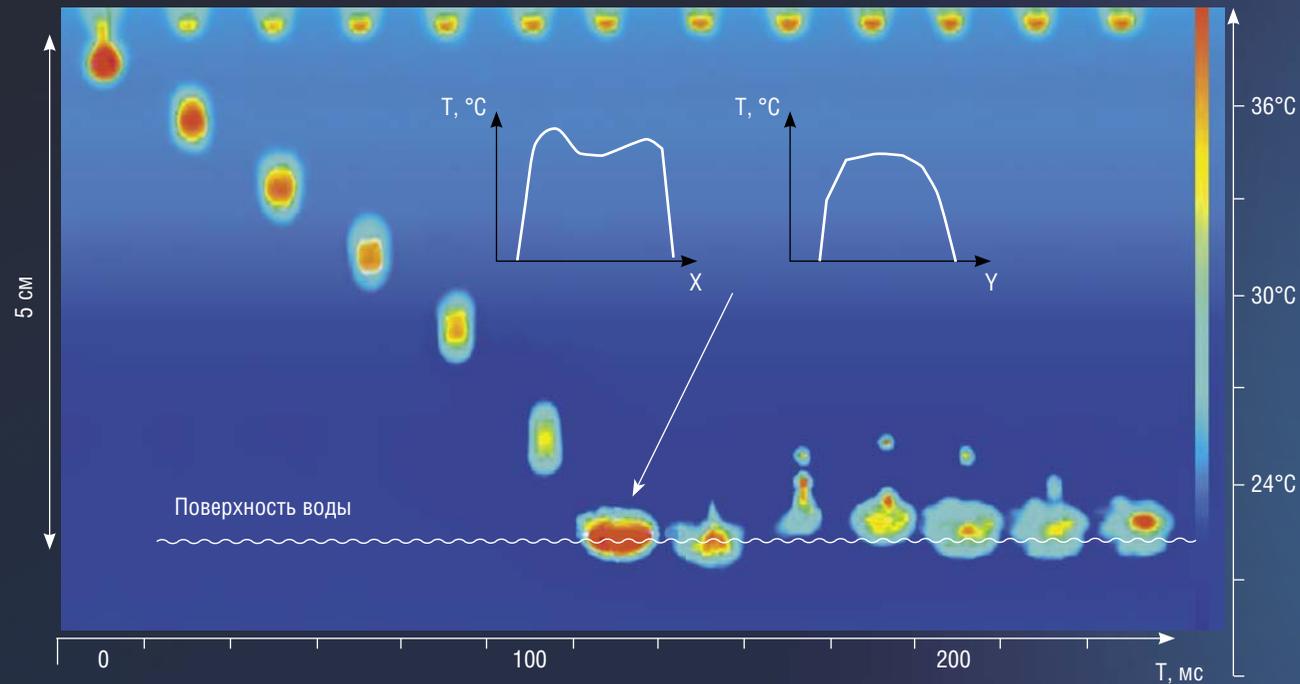


Характер спектра инфракрасного излучения тел, т. е. интенсивность излучения в определенном диапазоне длин волн, зависит от их температуры. Тепловизор «Свит» способен регистрировать ИК-излучение в относительно узком диапазоне длин волн. Сопоставить величину сигнала датчика тепловизора с температурой тела можно с помощью закона Планка, описывающего зависимость излучательной способности абсолютно черного тела от температуры и длины волны  
Рисунок И. В. Мжельского (Институт физики полупроводников СО РАН)

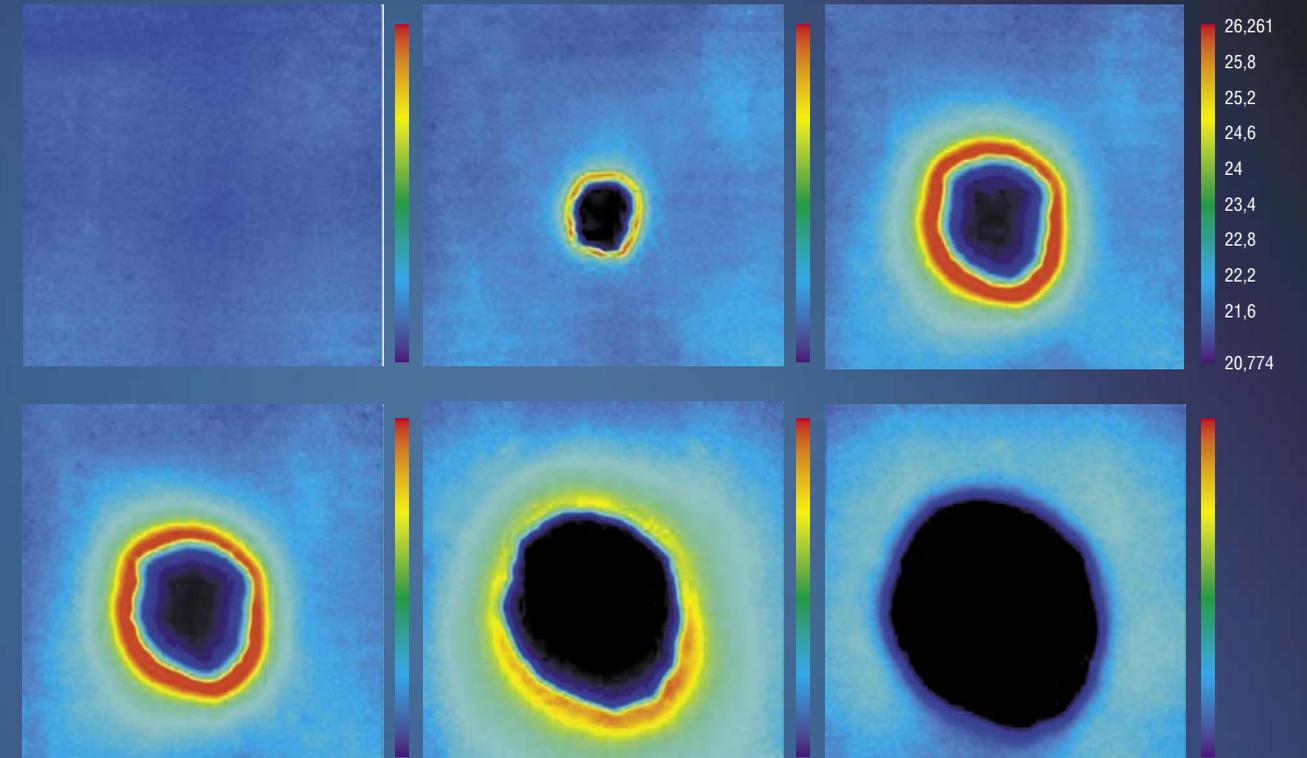
Гибридная фоточувствительная схема состоит из матрицы фоточувствительных МДП-конденсаторов (16 384 штуки) и кремниевого мультиплексора с индивидуальными считывающими ячейками сигналов от каждого конденсатора. Просветляющее покрытие уменьшает паразитное отражение от непланарной полированной поверхности p++-InAs. Поглощение квантов происходит в эпитаксиальном n-InAs слое. Индиевые столбы обеспечивают механическое и электрическое соединение элементов фокальной матрицы со считывающими ячейками кремниевого мультиплексора после совмещения и сдавливания кристаллов. При этом In-столбы расплющиваются и свариваются (холодная сварка). Размер фоточувствительных элементов 40 × 40 мкм, шаг 50 мкм.

Рисунок И. В. Мжельского (Институт физики полупроводников СО РАН)





С помощью тепловизора можно получить временную развертку процесса падения нагретой капли воды на поверхность воды комнатной температуры. Поведение такой капли – хорошая модель, которую можно использовать при изучении теплофизики и гидродинамики струйных течений и формирования эмульсий. На вставках показаны температурные профили по сечению капли в момент погружения в воду. Эксперимент В. М. Базовкина (Институт физики полупроводников СО РАН)



При впитывании капли воды в сухую ткань (в данном случае бязь) наблюдается интересное явление – образование вокруг нее ореола с температурой почти на 6 °С выше начальной. Этот эффект следует изучать и учитывать при разработке спортивной и лечебной одежды и белья. Фото А. Е. Настовьяка (Институт физики полупроводников СО РАН)

способность ткани: например, на синтетических тканях он выражен слабо, либо вовсе отсутствует. Это явление имеет прикладное значение при исследовании разных поглотителей типа цеолитов или разработке спортивных тканей и лечебного белья.

Очень наглядным примером применения тепловизоров является визуализация так называемых ячеек Бенара – диссипативных самоорганизующихся структур, формирующихся в неоднородно нагретых жидкостях при зарождении турбулентных течений. Прибор дает практически моментальную картину распределения температур, помогает увидеть форму и оценить масштаб возникающих конвективных ячеек.

Тепловизор можно эффективно использовать при поиске неисправностей печатных плат по наличию перегрева в электронных компонентах. А добавив к нему специальный инфракрасный микроскопический объектив, можно изготовить инфракрасный сканирующий микроскоп с высоким пространственным разрешением. Такой прибор можно использовать, например, при исследовании неравномерности излучения в ИК-светодиодах.

### «Тепловой портрет» болезни

Тепловизор можно с успехом применять для исследования большинства тепловых процессов, в которых температура поверхности неравномерна и быстро меняется. А к таким объектам, безусловно, относимся и мы с вами. Термографическая группа исследователей под руководством В. Я. Беленького, В. В. Ивлوشкина (ООО «Хелс-Сервис»), д. м. н. В. В. Ступака и д. м. н. С. В. Пушкарева (ныне ушедшего из жизни) разрабатывает новые тепловизионные методики диагностики начальных стадий ряда заболеваний.

Что в первую очередь делают при внезапном недомогании? Конечно же, измеряют температуру тела! Диагностика при помощи термографии основана на том, что температура является одним из главных признаков, отражающим состояние здоровья человека. Температурная палитра тела человека характеризует его возможности приспосабливаться к изменениям внешней среды и стрессам, а также отражает его текущее физиологическое состояние.

Температура тела на поверхности тела человека изменяется за счет работы вегетативной нервной системы, регулирующей кровонаполнение подкожной сосудистой сети в рефлексогенных зонах, соответствующих тому или иному внутреннему органу. Наблюдая за этими областями, мы регистрируем не структурные особенности внутренних органов, как это происходит при ультразвуковых, рентгеновских и других методах активной лучевой диагностики, а функциональные изменения, которые и несут информацию о протекании в организме нормальных и патологических процессов.

С помощью такого подхода разработана ранняя диагностика различных заболеваний в широком диапазоне – от онкологии до стоматологии. Тепловизионный метод диагностики абсолютно безопасен. По сути, он не отличается от обычной видеозаписи, однако при этом его можно использовать для контроля за состоянием человека и оценки эффективности лечения. Ведь термограмма практически мгновенно дает настоящий «тепловой портрет» болезни, по которому опытный врач может легко диагностировать и оценить степень развития заболевания.

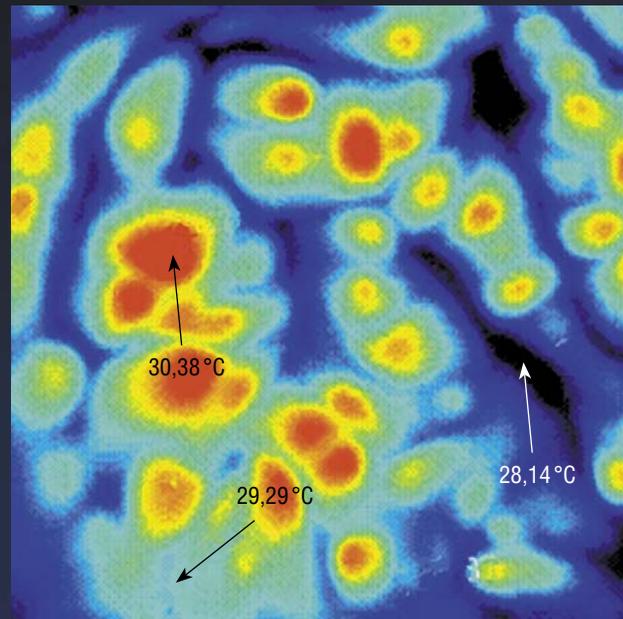
### Инфракрасное око «Свита»

Матричный тепловизор «Свита», позволяющий получать в реальном времени инфракрасное изображение различных объектов с предельным температурным разрешением 7 мК, был разработан в лаборатории микроэлектроники Института физики полупроводников СО РАН. Этот уникальный прибор предназначен для измерения поля температуры и визуального анализа статических и меняющихся во времени картин теплового состояния объектов и ориентирован для применения в области медицинской и научной термографии.

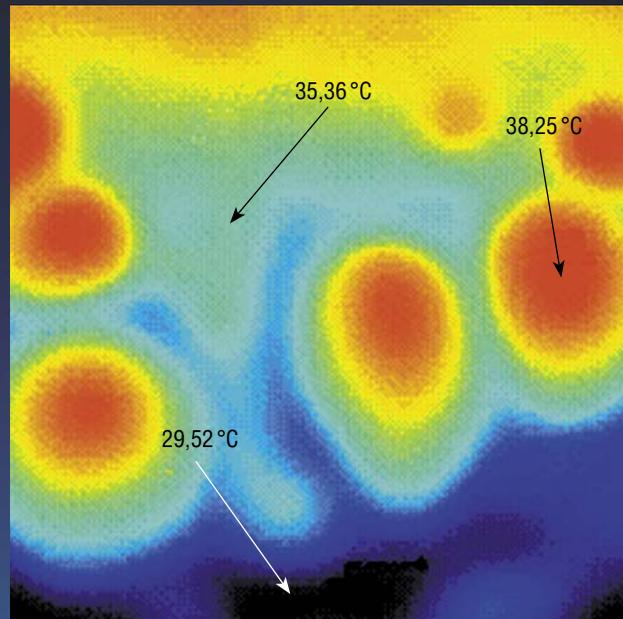
Основное достоинство «Свита» по сравнению с его зарубежными аналогами (российских аналогов у прибора нет) – его доступность и меньшая, в три-четыре раза, цена прибора. Кроме этого, он был сертифицирован как медицинский прибор в нашей стране (Росс Ru.АЯ79.Р15452) и в Европе (EC CERTIFICATE N110176QS/NB).

В «Свите» изображение объектов формируется специальным инфракрасным объективом и регистрируется с помощью матричного датчика излучений,

Вода

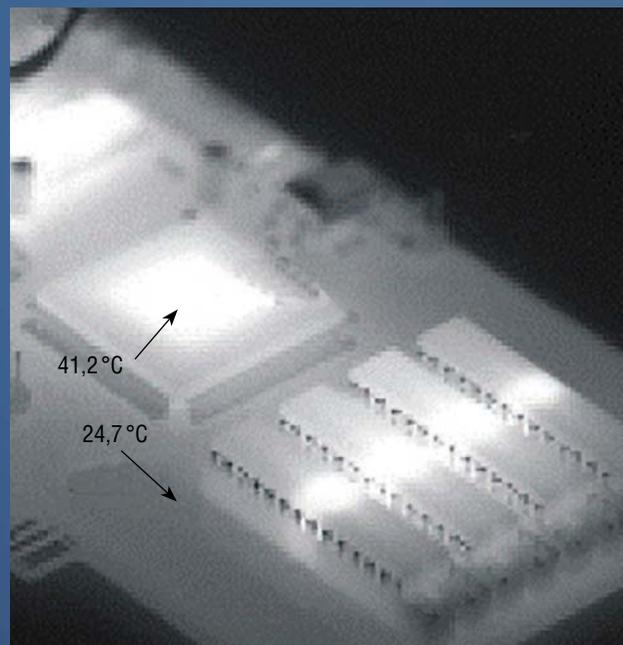
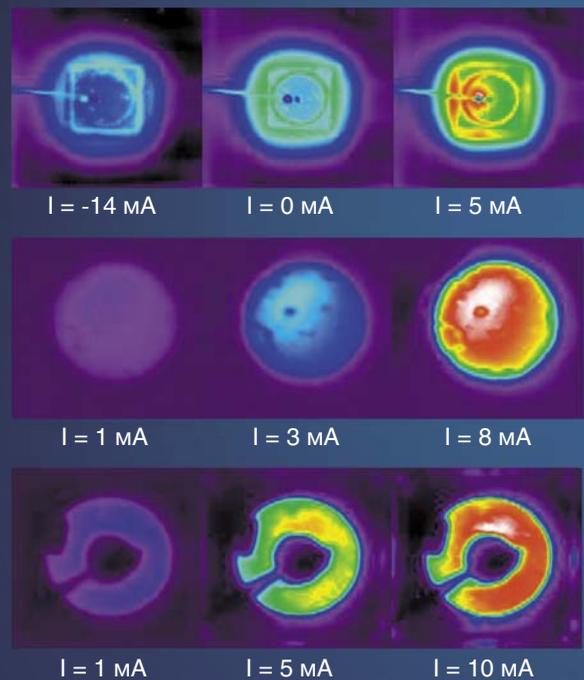


Глицерин



Наглядную и полезную информацию можно получить, исследуя с помощью тепловизора конвекционные явления – так называемые ячейки Бенара, возникающие при медленном нижнем нагреве жидкости. Термограмма позволяет с высокой точностью измерить пространственное распределение поля температуры

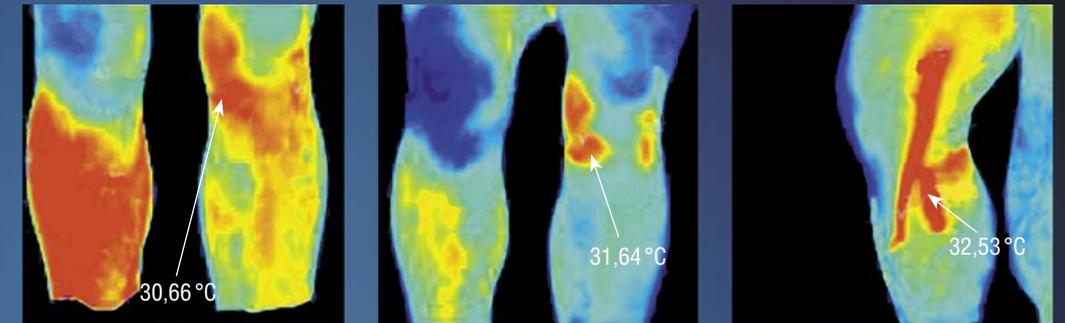
При изготовлении инфракрасных светодиодов важно, что бы их излучение было однородным (рисунок в среднем ряду слева). Тепловизионный микроскоп помогает контролировать качество светодиодов разной конструкции – на рисунке представлено три типа диодов, верхний ряд образцов демонстрирует сильную неоднородность излучения. Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН. Фото И. В. Мжельского, С. М. Кожевникова (Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск)



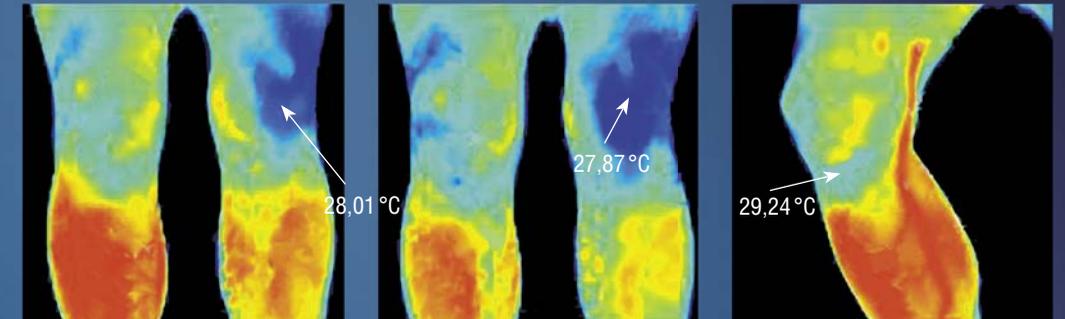
Термограмма платы с микросхемами АЦП и памяти (штатный режим работы). При возникновении неполадок в микросхемах их местонахождение можно диагностировать по повышению температуры. Фото В. М. Базовкина (Институт физики полупроводников СО РАН)

Термограмму можно использовать для диагностических целей: о наличии воспалительных процессов гайморовых полостей свидетельствует температурная асимметрия в области носа (слева); о варикозной болезни – «помеченные» высокой температурой расширенные вены нижней конечности (справа)

До процедуры лечения



После процедуры лечения



Вид спереди

Вид сзади

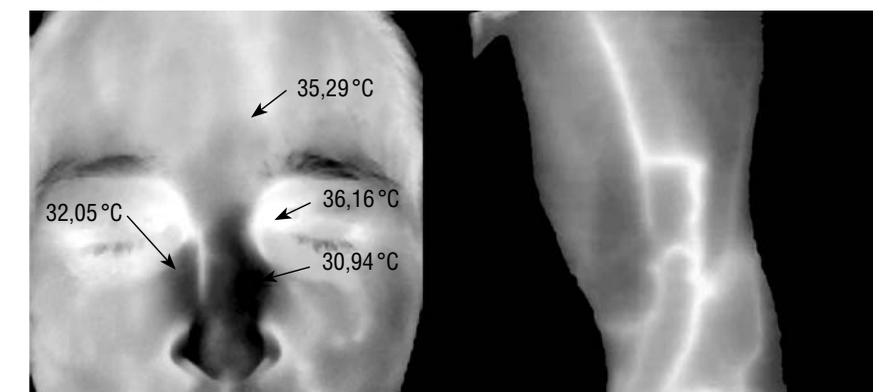
Вид сбоку

Термограмма помогает врачу контролировать процесс лечения травмы левого колена

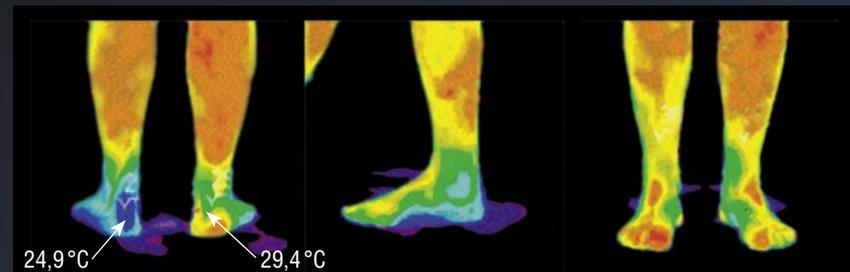
установленного в фокальной плоскости объектива. Поскольку величина выходного сигнала с фоточувствительных элементов датчика пропорциональна температуре объекта, можно произвести визуализацию изображения в виде черно-белой или цветной термограммы.

Датчик инфракрасного излучения прибора представляет собой гибридную интегральную схему, состоящую из полупроводниковых конденсаторов на основе арсенида индия (InAs), установленную на охлаждаемом пьедестале криостата. Фоточувствительные элементы полупроводниковой матрицы преобразуют кванты света в электрические заряды, которые считываются еще одним интегральным устройством – кремниевым мультиплексором, а затем усиливаются, преобразуются и передаются в компьютер.

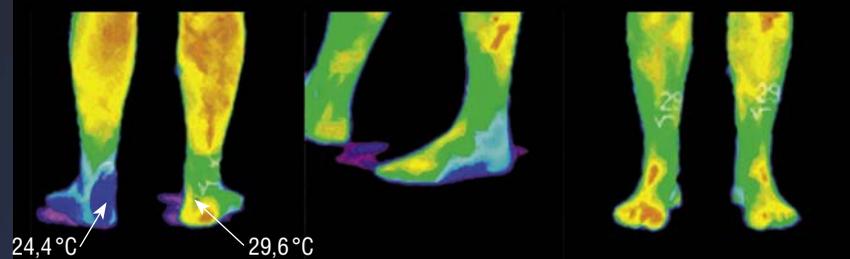
Минимальному сигналу можно присвоить черный или фиолетовый цвет, максимальному – белый или красный, а промежуточные равномерно распределить по 256 градациям серого или цветного оттенков. В конечном итоге на экране монитора появляется цветное или черно-белое тепловизионное изображение объекта – термограмма, позволяющая видеть объект «в инфракрасных лучах».



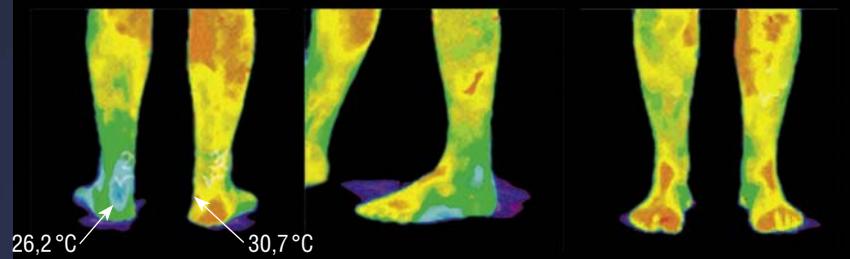
До процедуры лечения



Во время процедуры лечения

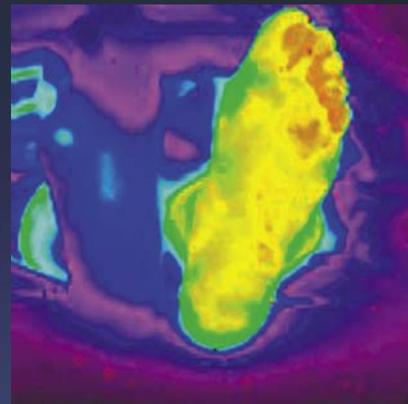


После процедуры лечения

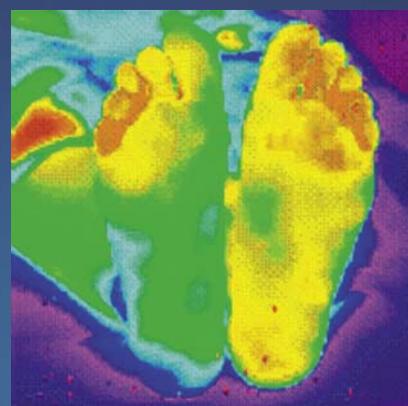


Диабетическая стопа – пораженная нога имеет пониженную температуру по сравнению со здоровой. Повышение температуры после проведения лечебных процедур свидетельствует о восстановлении кровоснабжения больных участков и эффективности назначенного лечения

До процедуры лечения

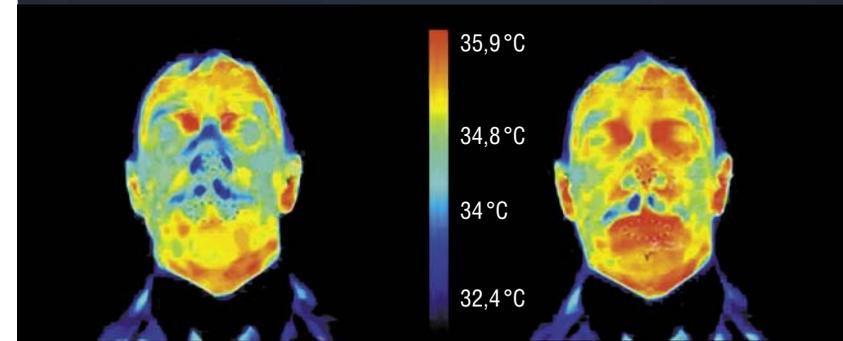


После процедуры лечения

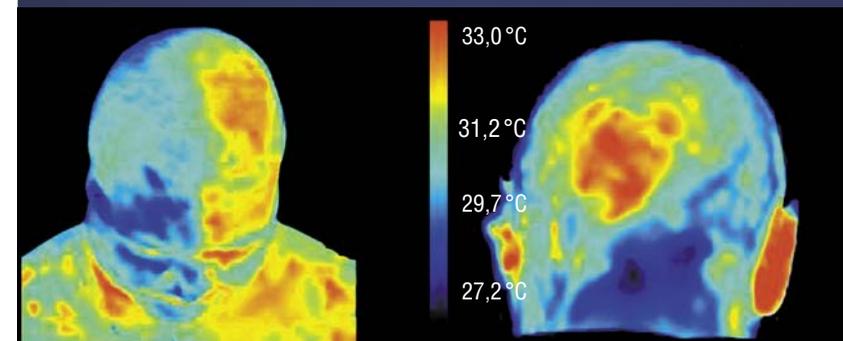


Диабетическая стопа, поражение правой ноги. Хорошо виден рост температуры, свидетельствующий о восстановлении кровоснабжения

Повышение температуры лица здорового испытуемого через пять минут после принятия биологической добавки «Янтарь антитокс» (справа) происходит вследствие улучшения кровообращения



Злокачественные новообразования характеризуются повышенной температурой, поэтому термограмма лица позволяет локализовать опухоли в случае ходжкинской лимфомы (слева) и менингиомы (справа)



О некрозе фаланги безымянного пальца этой руки свидетельствует относительно более низкая температура пораженного пальца

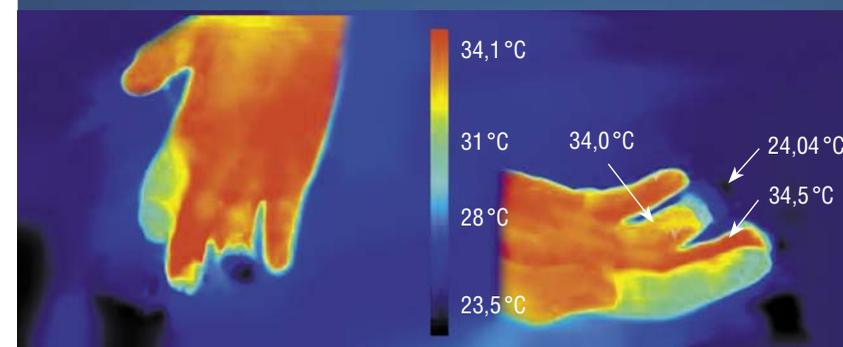


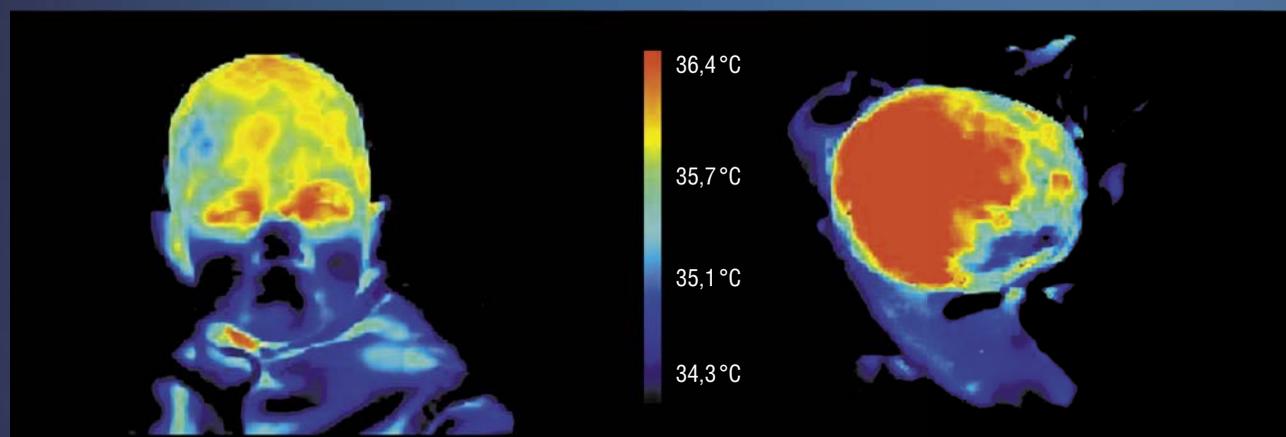
Фото В. Я. Беленького, д. м. н. С. В. Пушкарева, В. В. Ивлюшкина (ООО «Хелс-Сервис»), д. м. н. В. В. Ступак (НИИТО, Новосибирск)

Современные технологии позволяют визуализировать невидимое человеческому глазу, значительно расширяя возможности современной науки, производства и медицины. Например, с помощью «инфракрасного глаза» тепловизора можно распознать болезнь на самых ранних стадиях, не прибегая к другим, более сложным и болезненным процедурам диагностики.

Особое достоинство таких приборов, как тепловизор, в том, что они могут представлять температуру изучаемых объектов не в виде сухого набора цифр, а наглядно. Это позволяет увидеть взаимосвязь между явлениями, уловить общие тенденции происходящих процессов. Но в то же время тепловизор дает и очень точные данные о температуре. Такое уникальное сочетание наглядности и точности открывает перед тепловизорами огромные перспективы для применения в самых разных областях человеческой деятельности.

Литература

Хадсон Р. Инфракрасные системы. М.: Мир, 1972.  
 Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М.: Мир, 1988 г.  
 Vainer B. G. Focal plane array based infrared thermography in fine physical experiment // J. Phys. D: Appl. Phys. 2008. V. 41. № 6. P. 065102.  
 Вайнер Б. Г. Матричное тепловидение в физиологии: Исследование сосудистых реакций, перспирации и терморегуляции у человека. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. 96 с.



При ударе по голове слева у этого пациента пострадала правая сторона. На термограммах двух проекций головы место ушиба выделяется пониженной температурой. Так удалось определить пораженный участок, требующий оперативного вмешательства

Т. В. ТЕПЛЯКОВА

# ГРИБЫ ВЫХОДЯТ на ОХОТУ



Грибы являются одними из самых удивительных созданий среди высших организмов: сочетающие в себе черты растений и животных, они выделены в отдельное обширное царство. Эти микроскопические организмы вездесущи и удивительно разнообразны, но, пожалуй, самой уникальной экологической группой среди них можно считать хищные грибы. В процессе эволюции эти крошечные хищники обзавелись различными охотничьими приспособлениями для улавливания своих жертв – круглых червей (нематод), среди которых насчитывается немало паразитических видов, представляющих угрозу для здоровья растений, животных и даже человека. Хищные грибы могут стать эффективной и экологически безопасной альтернативой современным дорогостоящим и высокотоксичным химическим антигельминтным препаратам, использование которых в большинстве случаев приводит к загрязнению окружающей среды, а также повышению устойчивости к ядам самих паразитов



ТЕПЛЯКОВА Тамара Владимировна – доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией микологии ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора (Кольцово, Новосибирская обл.) Автор и соавтор более 150 печатных работ, в том числе 2 монографий, 12 авторских свидетельств и патентов

На фото – личинки картофельной нематоды в клейких сетях хищного гриба *Duddingtonia flagrans*; вверху – гифы (нити грибницы) хищного гриба, культивируемого на агаре

**Ключевые слова:** хищные грибы-нематофаги, паразитические нематоды, ловушки для нематод, хламидоспоры, биопрепараты.  
**Key words:** predatory (nematophagous) fungi, parasitic nematodes, traps for nematodes, chlamydospores, biopreparation

© Т. В. Теплякова, 2012

В наши дни гельминтозы растений, вызванные круглыми червями (нематодами), представляют собой серьезную проблему как для крупных сельскохозяйственных предприятий, так и обычных дачников: по мнению экспертов, фитопаразитические нематоды «съедают» до 10 % мирового урожая!

Особой вредоносностью отличаются так называемые *галловые нематоды* (*Meloidogyne incognita*, *M. hapla* и др.), распространенные как в открытом, так и в защищенном грунте. Они вызывают на корнях растений образование опухолей (*галлов*), в результате чего урожай может снижаться почти вдвое. Такими нематодами поражаются многие культуры, от томата и огурца до дыни и женьшеня. Большой ущерб наносят и другие паразитические нематоды: так, стеблевая нематода (*Anguillulina dipsaci*) поражает землянику, а к картофелю, традиционной русской культуре, ставшей в Сибири настоящим «вторым хлебом», равнодушна золотистая картофельная нематода (*Globodera rostochiensis*).

В связи с изменением климата, а также с расширением торговых связей между регионами многие паразиты, в том числе и некоторые фитопаразитические нематоды, ранее считавшиеся карантинными объектами, начинают успешно завоевывать новые территории. Наглядным примером для сибиряков является не только хорошо всем знакомый колорадский жук, впервые зафиксированный в Новосибирской области в 1978 г, но и вышеупомянутая картофельная нематода – злостный, быстро размножающийся

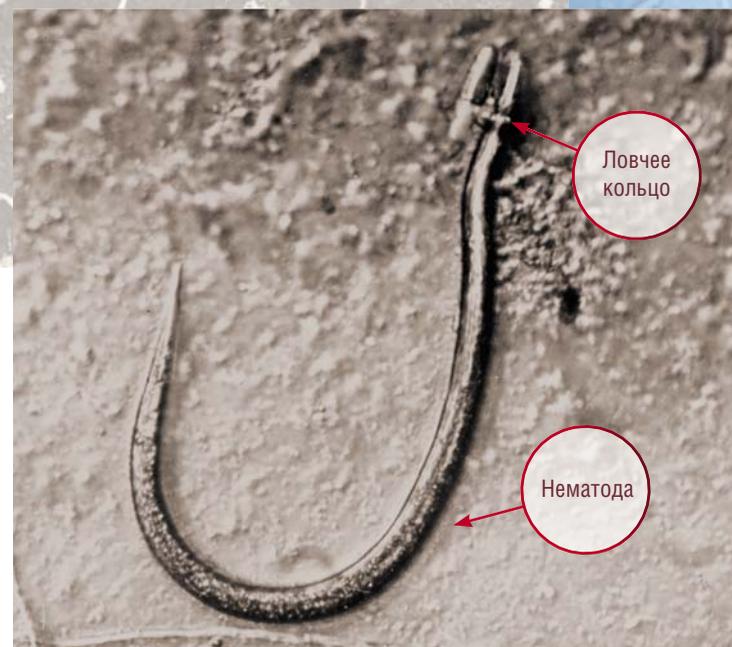
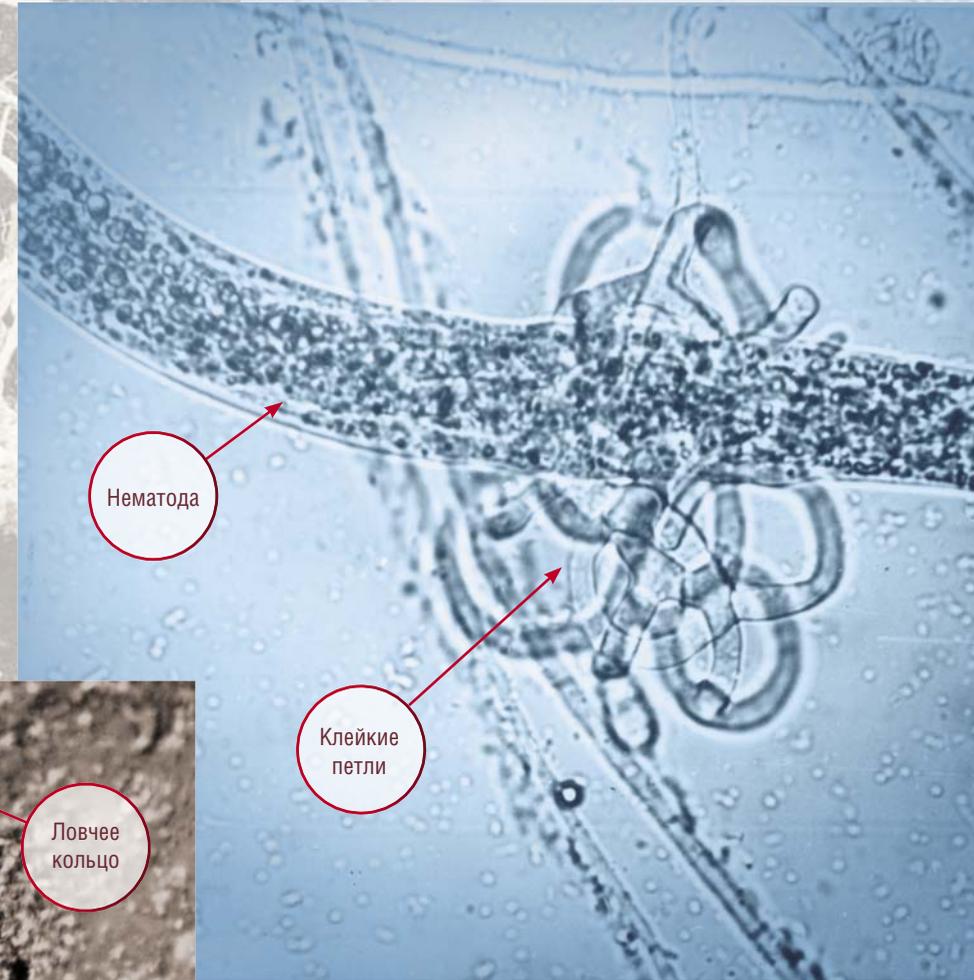


В защищенном и открытом грунте широко распространены галловые нематоды. Внедряясь в корни огурца, томата и других растений, они вызывают образование на них опухолей, нарушая обмен веществ. Пораженные растения увядают, легко поражаются болезнями и погибают. Золотистая картофельная нематода повреждает корни картофеля, образуя цисты: эти круглые образования представляют собой самок, кожные покровы которых превращаются в жесткую, стойкую к внешним условиям оболочку, наполненную яйцами и формирующимися из них личинками. Слева – цисты на корне картофеля; вверху – галлы на корнях огурца

На сегодняшний день известно более ста видов хищных грибов-гифомицетов. Эти микроскопические обитатели почвы найдены во всех частях мира и во всех климатических зонах. Утилизируя огромную массу почвенных нематод, они играют значительную роль в общем круговороте углерода, азота и других важнейших биогенных элементов

вредитель, уже обнаруженный во многих районах НСО.

Не в меньшей степени, чем растения, паразитическими нематодами поражаются домашние и сельскохозяйственные животные. При этом ряд гельминтов животных представляют серьезную угрозу и для здоровья людей, которые могут заразиться ими при непосредственном контакте либо через почву с территорий выгулов. Значительная зараженность собак и кошек гельминтами приводит к росту заболеваемости среди населения с весьма тяжелыми последствиями. К этому достаточно добавить, что по некоторым оценкам паразитическими нематодами (острицами, аскаридами и т.д.) заражена четверть населения Земли.



### В засаде на червя

Среди естественных регуляторов численности нематод особого внимания заслуживают хищные грибы.

Выражение «хищный» применительно к грибу может показаться странным, тем более что в отличие от крупных грибов – макромицетов, к которым относятся все съедобные грибы, хищные грибы являются микромицетами и представляют собой тончайшие паутинки нитей (гиф), видимых только под микроскопом.

На таких гифах и формируются ловушки, способные захватывать активно передвигающихся нематод, диаметр тела которых в сотни раз больше диаметра гиф самого гриба! Причем виды этих ловчих приспособлений, начиненных «химическим оружием», очень разнообразны: клейкие петли, головки, сжимающиеся кольца.

Исследования хищных грибов с целью поиска штаммов, перспективных в качестве продуцентов био-препарата против нематод, были начаты в Сибирском НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства еще в 1971 г.

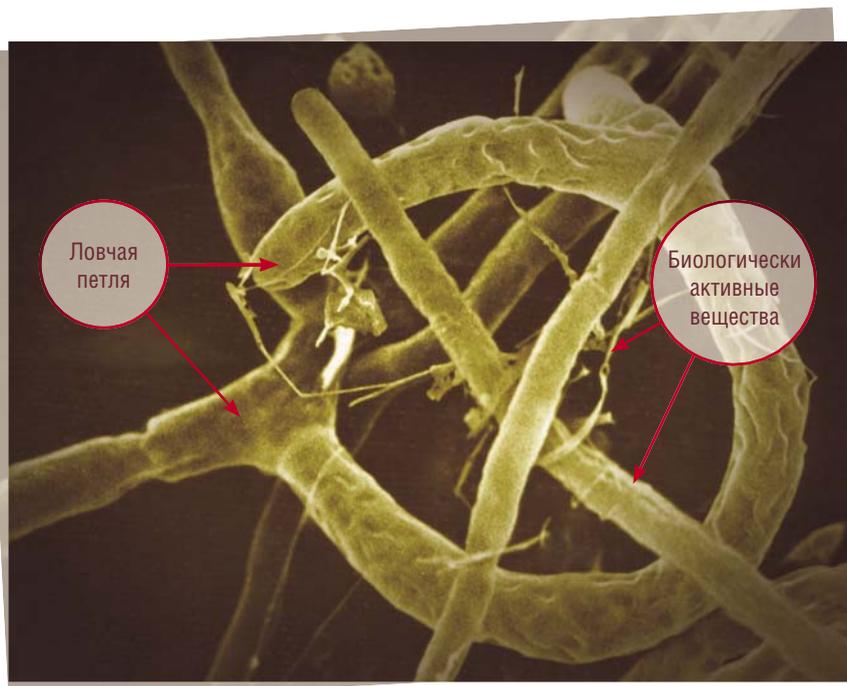
Охотничьи приспособления хищных грибов отличаются большим разнообразием: здесь и сжимающиеся кольца, и клейкие петли, и даже «химическое оружие». На фото – результат успешной охоты: почвенная нематода, сжатая ловчим кольцом гриба *Dactylariopsis brochopaga* (вверху), и нематода, попавшая в клейкие петли гриба *Arthrobotrys compacta* (вверху справа). Световая микроскопия

### В МИРЕ НЕМАТОД

Круглые черви (нематоды, лат. *Nematodes*) отличаются огромным систематическим и экологическим разнообразием. Сегодня в этой группе насчитывается около 80 тыс. видов, однако по некоторым оценкам их число достигает миллиона. Среди нематод встречаются как малютки с длиной тела менее 100 мкм, так и гиганты, такие как паразитирующая в плаценте кашалота нематода длиной свыше 8 м. Маленькая деталь: взрослая самка круглого червя может ежедневно откладывать до четверти миллиона яиц!

Круглые черви с успехом освоили практически все известные среды обитания, исключая воздушную: они встречаются в пресноводных водоемах и в глубинах океанов, в почве и в ... самих живых организмах. Последние, т.е. паразитические нематоды, представляют собой лишь часть среди множества многочисленных свободно живущих видов (в 1 дм<sup>3</sup> поверхностного слоя почвы может обитать до 2 млн особей).

Круглые черви паразитируют за счет растений и животных; хозяином их является и человек, на котором могут паразитировать около пяти десятков видов нематод. Обычно они живут в полостных органах, сообщающихся с внешней средой (пищеварительный тракт, легкие, почки), а также в соединительной и лимфатической ткани. На сегодня нематоды наиболее распространены среди гельминтозов, возбудители которых проходят фазу развития в почве. Например, по данным ВОЗ, в мире аскаридозом ежегодно поражается свыше 1 млрд человек, и немногим меньше – анкилостомидозами и трихоцефалезом



### ТАКТИКА И СТРАТЕГИЯ ХИЩНИКА

Механизм хищничества у грибов, независимо от типа ловушки, включает в себя выделение аттрактивных (привлекающих) и токсичных веществ; проникновение гифы гриба внутрь тела парализованной нематоды; выделение ферментов и антибиотиков для «переваривания» содержимого нематод и подавления развития конкурирующих микроорганизмов.

Все эти биологически активные соединения не растворимы в воде и поэтому не подвергаются быстрому разрушению почвенными микроорганизмами. К таким веществам относятся, например, токсины терпеновой природы, содержащиеся в клейком веществе, выделяющемся на поверхности ловушек и мицелия (Раджабова, 1971; Беккер, 1972).

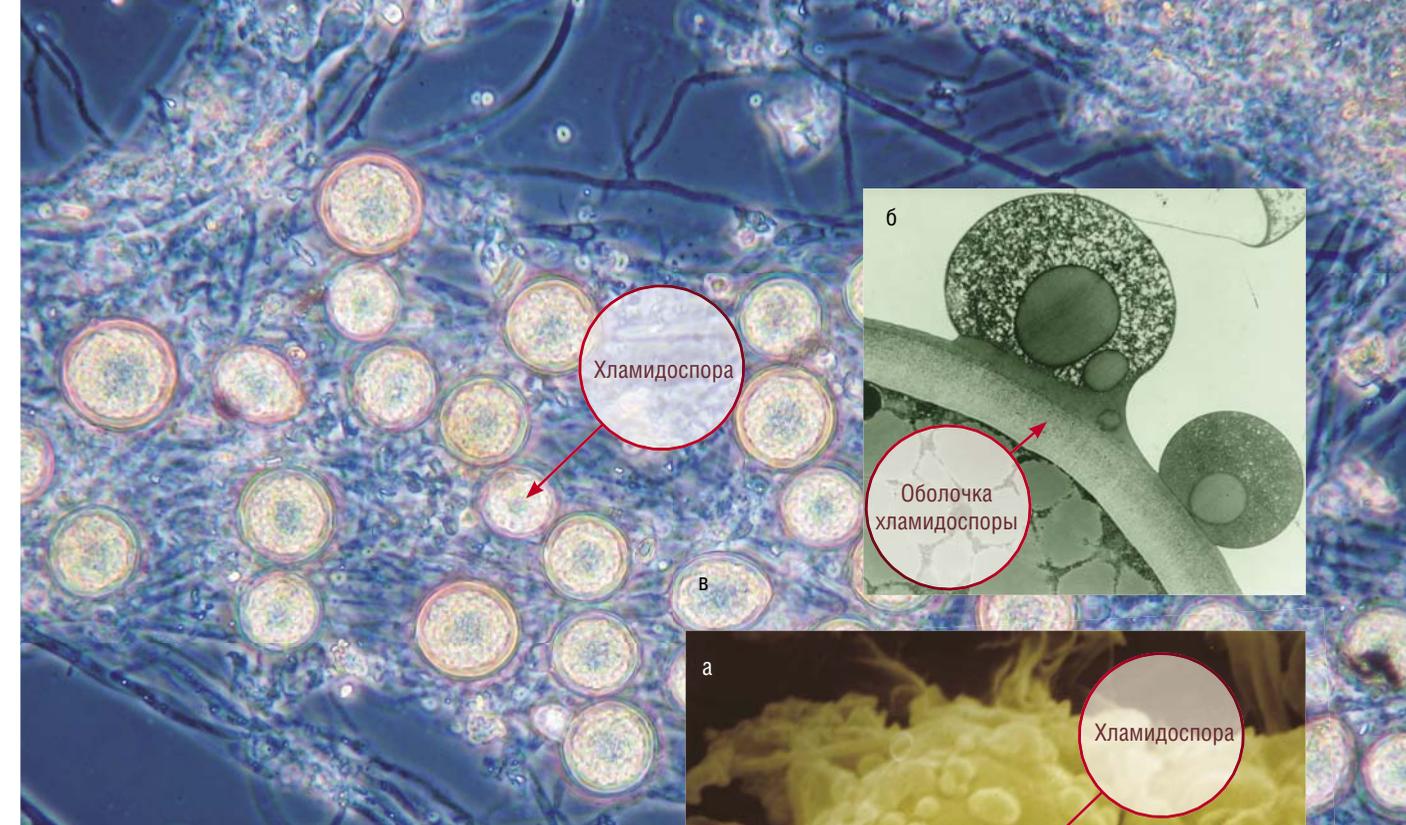
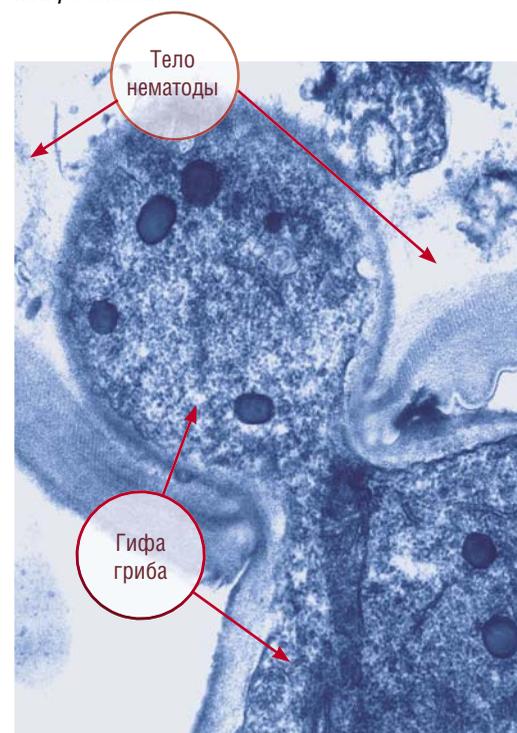
Ранее предполагалось, что проникновение гифы гриба в тело нематоды происходит благодаря растворению внешних покровов червя под действием ферментов, выделяемых грибами, однако на сегодня точно установлено, что гифы гриба раздвигают кутикулу нематоды с помощью особых фибриллярных структур (Теплякова, Рябчикова, 1991). Об этом свидетельствует и повышенное содержание кальция в ловушках гриба, выявленное с помощью рентгеновского микроанализа. Особенно заметно (в 30—40 раз!) содержание кальция увеличивается в ловчих кольцах грибного мицелия.

Как известно, кальций играет важную роль в механизме мышечных сокращений у животных, участвуя в регуляции функции актомиозина (сократительного белка мышц). Аналогичное явление, по-видимому, имеет место и в мире грибов, чья биохимия имеет много общих черт с животными (Беккер, 1975). Такая актомиозиновая система у хищных грибов может использоваться для разных целей: с ее помощью они могут сжимать свои ловчие кольца либо выдавливать токсические клейкие вещества на поверхность ловчих петель.

При внесении в почву биопрепарата на основе хищных грибов максимальное число ловчих органов у всех исследованных штаммов формируется на 14-е сутки. Поэтому наиболее целесообразно вносить такой биопрепарат не менее чем за 2—3 недели до высадки растений (Сопрунов, 1958; Теплякова, 1999).

Во всем мире этой проблемой тогда занимались не более сотни специалистов. Полученные к тому времени экспериментальные данные о нематофаговой эффективности хищных грибов были немногочисленны и противоречивы, что ставило под сомнение возможность их применения для регуляции численности нематод. Поэтому для научного обоснования возможности эффективного использования хищных грибов в биологической защите требовалось изучить многие стороны жизнедеятельности этих организмов – жизненные циклы, особенности поведения, взаимоотношения с другими микроорганизмами как в культуре, так и в почве.

Уже через 30 минут после поимки нематоды с помощью клейких ловчих петель (*слева*), гифы гриба *Arthrobotrys compacta* раздвигают покровы и проникают в тело парализованного круглого червя (*внизу*). Сканирующая и световая микроскопия



Было необходимо также глубже узнать о самом механизме хищничества, обосновать методы селекции и стабилизации эффективных штаммов. Не решив эти вопросы, было невозможно разработать биотехнологию препарата и дать рекомендации по его применению на практике.

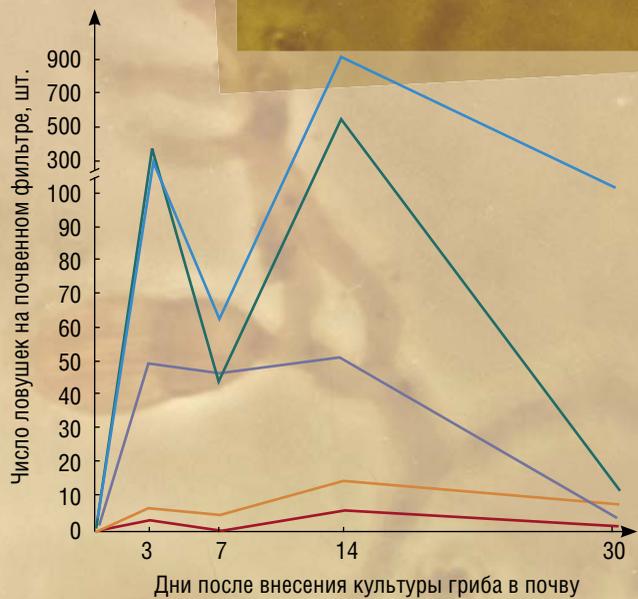
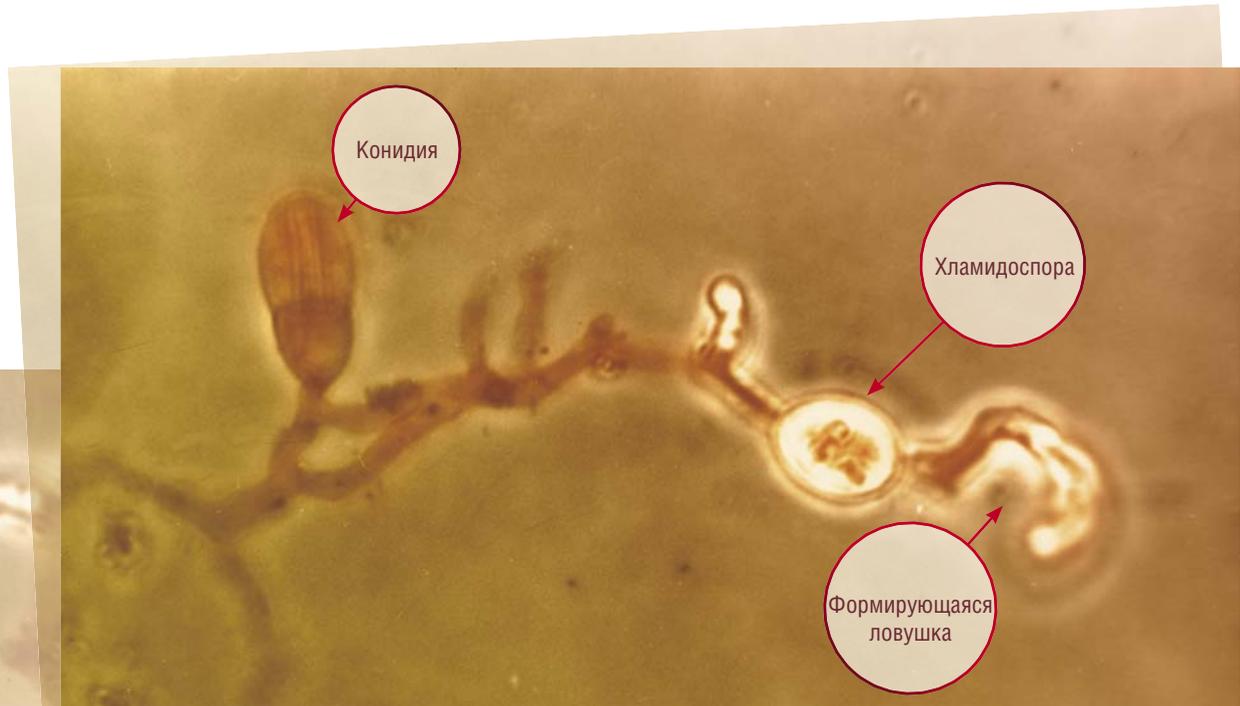
### За стенками хламидоспоры

Многие исследователи при выделении хищных грибов из почвы наблюдали образование на грибном мицелии *хламидоспор* – крупных, с толстыми оболочками образований, которые по мере пересевов грибов исчезали. Считалось, что хламидоспоры формируются только в неблагоприятных условиях, при этом роль их в жизненном цикле этих грибов до конца не была ясна. Однако результаты исследований показали, что для хищных грибов хламидоспоры являются важнейшей и в некоторых случаях даже основной жизненной формой (Теплякова, 1999).

Это открытие объяснило тот факт, почему хищные грибы так трудно выделять из почвы общепринятыми микробиологическими методиками. Ведь преимущественное развитие на питательном агаре получают обычные грибы-сапротрофы, находящиеся в вегетативных стадиях развития, а хламидоспоры хищных грибов для прорастания требуют стимуляции. Поэтому для выделения нематофаговых грибов используют особую методику, при которой на поверхность водного агара помещают комочки почвы вместе с ее обитателями-нематодами, либо добавляют лабораторную культуру нематод.

Грибы отличаются сложным циклом и разнообразием способов размножения. Важнейшей жизненной формой для хищных грибов является хламидоспора – покрытая толстой оболочкой покоящаяся стадия хищника, служащая вегетативным аналогом настоящих семян-конидий. На фото – внешний вид (*а*) и фрагмент внутреннего строения (*б*) хламидоспор *Duddingtonia flagras* (*в*). Световая и электронная микроскопия

Под влиянием метаболитов, выделяемых червями, хламидоспоры прорастают и на гифах гриба образуются «охотничьи» приспособления. Уже через неделю на поверхности агара можно обнаружить настоящие «погоища» – участки, где находятся погибшие нематоды и гифы гриба с ловушками, а также органы бесполого размножения – *конидиеносцы* с головками или целыми гирляндами головок *конидий* (грибных спор). При дальнейшем культивировании на питательном агаре грибы постепенно теряют способность к образованию хламидоспор и начинают расти преимущественно в виде вегетативного мицелия.



На примере штамма хищного гриба-нематофага рода *Arthrobotrys* показано, что при внесении в почву лабораторной культуры гриба преимущественно формируются хламидоспоры. Они прорастают и формируют ловушки, когда рядом с ними появляются личинки нематод. После «трапезы» образуется следующая генерация хламидоспор. Цикл будет повторяться, пока в почве присутствуют гельминты. Слева – динамика охотничьей эффективности в естественных условиях лабораторной культуры пяти штаммов рода *Arthrobotrys*, оцененной по интенсивности формирования ловушек на грибном мицелии

Таким образом было установлено, что наиболее эффективными продуцентами биопрепарата являются штаммы нематофаговых грибов, способные формировать в почве и в культуре большое количество хламидоспор, чьи защитные оболочки оказываются «не по зубам» клещам, амебам и другим представителям почвенной фауны, а также выдерживают длительное высушивание и действие других неблагоприятных факторов среды.

### Лекарство для почвы

Поиск в природных популяциях позволил отобрать эффективные штаммы хищных грибов, характеризующиеся высокой нематофаговой активностью.

Речь идет об *Arthrobotrys oligospora* 3062D (а.с. СССР 1688818, 1991), на основе которого в 1990 г. была разработана технология получения биопрепарата нематофагин-БЛ, разрешенного для применения в России,



а также *Duddingtonia flagrans* F-882 (патент РФ 2253671, 2005), характеризующегося высокой способностью к формированию в культуре хламидоспор.

Стало очевидно, что в зависимости от назначения возможно получать как жидкие, так и сухие формы биопрепаратов, используя разные технологические приемы.

Для внесения в почву сухая форма биопрепарата, содержащего хламидоспоры, может быть приготовлена на разных носителях, например, на слоистом минерале вермикулите (патент РФ 2366178, 2009). В более простом случае препарат производят на зерновых средах: его используют для лечения и профилактики от паразитических нематод сельскохозяйственных или домашних животных путем скармливания.

Жидкий препарат можно нарабатывать на уже существующих предприятиях, производящих бактериальные средства защиты растений, тем более что для выше-названных штаммов уже подобраны недорогие среды и отработаны условия культивирования.

Так, в 2001–2008 гг. на Бердском заводе ООО ПО «Сиббиофарм» на основе штамма *Duddingtonia flagrans* F-882 было произведено более 5 т жидкой формы препарата, предназначенного для производственных испытаний в защищенном грунте. Нужно сказать, что биомасса гриба, полученная в таких ферментерах, содержит широкий спектр биологически активных веществ. Последние исследования, проведенные в ГНЦ ВБ «Вектор» совместно с вирусологами, свидетельствуют и о противовирусной активности этих метаболитов нематофаговых грибов (заявка на патент 2011110830 от 22.03.2011).

Испытания жидкой и сухой форм биопрепаратов на основе хищных грибов показали их высокую эффективность как для защищенного, так и открытого грунта. Контрольные растения, почва под которыми не была обработана препаратом, значительно отставали в росте и урожайности

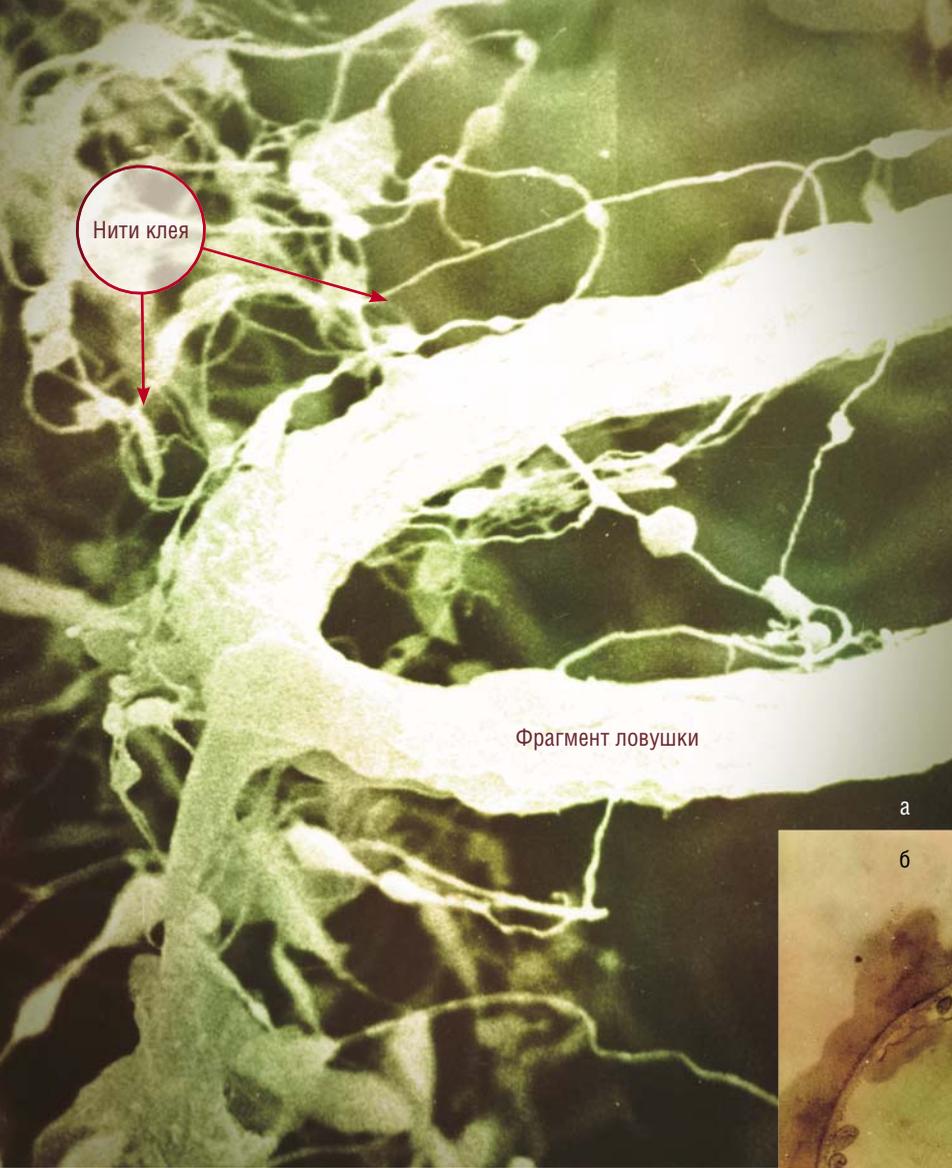
Испытания разных форм биопрепарата, проведенные в России (Новосибирская и Кемеровская области, Алтайский и Краснодарский края) на разных культурах (огурец, томат, картофель, земляника и др.) показали:

- снижение зараженности почвы нематодами в теплицах на 86 %, в результате чего прибавка урожая на примере огурца составляет 2 кг на 1 м<sup>2</sup> и более;
- снижение зараженности картофельной нематодой у восприимчивых сортов на 52–70 %, благодаря чему урожайность повышается в 1,5–2 раза;
- уменьшение численности стеблевых нематод в листьях земляники в 2–17 раз в зависимости от дозы и формы препарата при одновременном увеличении доли крупных ягод на 5–17 %;
- стимулирующее влияние на рост и развитие растений, от рассады цветов до саженцев сосны и т. д.

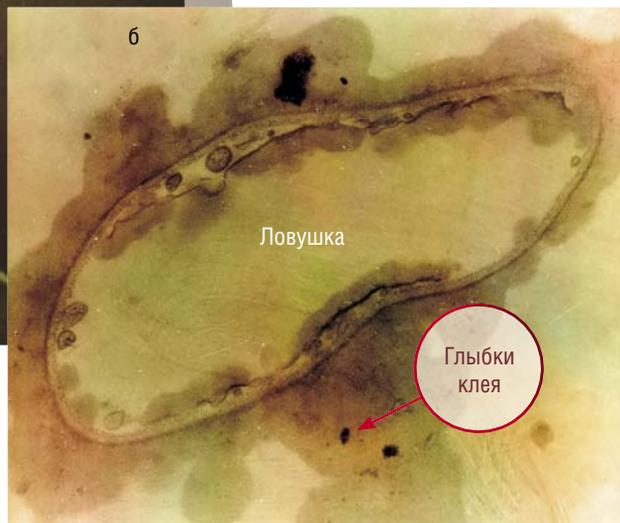
Зимой 2005–2006 гг. в тепличном комбинате совхоза «Суховский» (Кемеровская обл.) был проведен производственный опыт с жидкой формой препарата с целью подтвердить отмеченную ранее большую продолжительность действия биопрепарата (Теплякова, 1999; Теплякова, Ананько и др., 2008). Оказалось, что в первый год применения препарата урожайность огурца гибрида «Эффект» в опытных теплицах по сравнению с контролем повысилась на 0,1–1,0 кг/м<sup>2</sup>,

Именно незнание этих особенностей могло приводить к несовпадению данных экспериментов и полевых исследований. Ведь чаще всего в почву вносили биопрепарат, полученный на зерновых питательных средах, основу которого составляет грибной мицелий с конидиями. В почве такой штамм часто оказывался не слишком жизнеспособным, в результате чего высокоактивный в лабораторных условиях препарат был неэффективным на практике.

Например, из пяти изученных штаммов грибов рода *Arthrobotrys*, показавших в условиях лаборатории практически одинаково высокую нематофаговую активность, лишь два были пригодны для биотехнологических целей.



Высокий нематофаговый эффект сухой формы биопрепарата хищного гриба, богатой хламидоспорами, обязан образованию в почве многочисленных ловушек. При использовании жидкой формы, содержащей только грибной мицелий, гибель нематод наступала в результате воздействия токсических соединений, выделяемых гифами гриба.  
 а, б – клейкие и биологически активные вещества, выделяемые хищным грибом *Arthrotrys oligospora*.  
 Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия



а в последующие два года (без дополнительного внесения препарата) – на 0,6–0,7 кг/м<sup>2</sup> и 1,3–2,8 кг/м<sup>2</sup> соответственно.

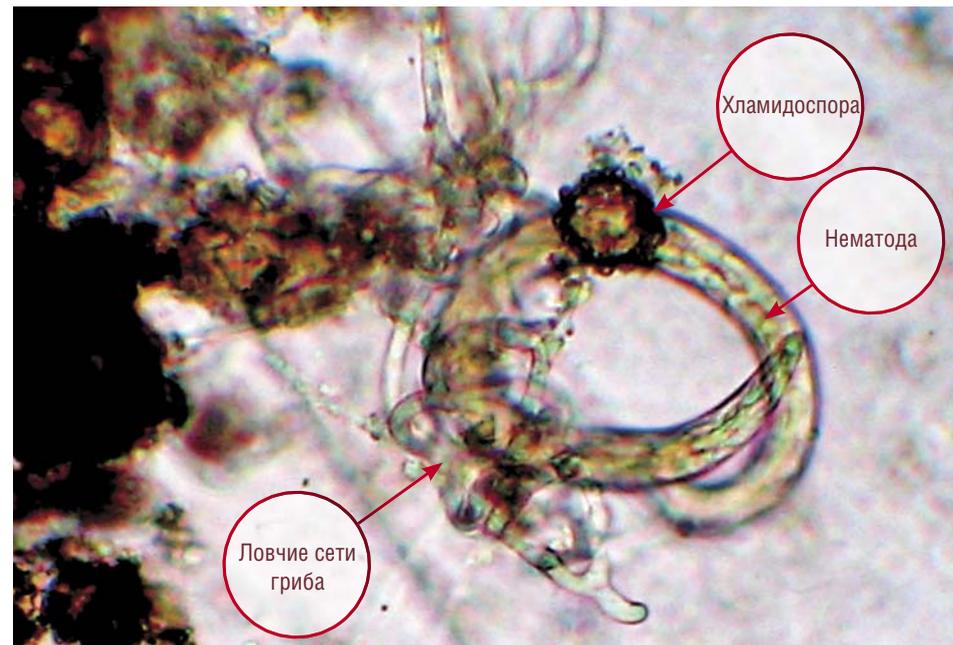
## От мышей до маралов

Известно, что популяция паразитических нематод на пастбищах на 95% состоит из инвазивных личинок, что быстро сводит на нет действие антигельминтной терапии и способствует увеличению экономических затрат за счет увеличения кратности противопаразитарных обработок (Herd, 1985). Согласно современным представлениям, оптимизация системы противопаразитарных мероприятий подразумевает, во-первых, уничтожение гельминтов в организме самого животного при помощи антигельминтных средств; а во-вторых, проведение ряда мер, ограничивающих численность личинок и яиц паразитов во внешней среде.

Одним из перспективных методов ограничения численности личинок паразитических нематод во внешней среде является биологический контроль с использо-

ванием хищных грибов-гельминтофагов. В рамках такого подхода совместно с Институтом ветеринарии СО Россельхозакадемии были проведены лабораторные исследования нематофаговой способности штамма *D. flagrans* F-882 в отношении нематод овец, маралов и лошадей. Оказалось, что «в пробирке» этот штамм вызывает гибель 93–98% нематод ряда паразитических родов *Trichonema*, *Strongylus*, *Alfortia* и др. (Теплякова, Ефремова, 2005; Ефремова, Теплякова, 2007; Ефремова, Теплякова и др., 2007).

В эксперименте на лабораторных белых мышах, которым скармливался зерновой биопрепарат на основе этого штамма, было показано, что гриб, проходя через пищеварительную систему животных, сохранял свою жизнеспособность и нематофаговую эффективность.



Этот хищный гриб *Duddingtonia flagrans* успешно справился с поимкой нематоды, паразитирующей на сельскохозяйственных и диких животных – овцах, лошадях и маралах

В экскрементах опытных животных были обнаружены гифы с ловчими петлями и хламидоспоры, а гельминты, «вымытые» из пищеварительного тракта мышей, имели, по сравнению с контролем, значительные нарушения в структуре клеток всех тканей и органов, которые в конечном счете и приводили к гибели нематод. Очевидно, повреждающее действие оказывали вещества, продуцируемые грибными клетками, поскольку признаки «прямого» заражения нематод грибами не были выявлены.

Токсикогигиеническая оценка культур штаммов хищных грибов в Ангарском НИИ медицины труда и экологии человека, аккредитованном в Системе аккредитации Госстандарта России, показала, что при всех путях поступления в организм культуры грибов не оказывают на организм теплокровных животных общетоксического и патогенного действия. Они не размножаются в организме, не вызывают инфекционного процесса и быстро элиминируются.

Все эти данные свидетельствуют о возможности применения хищных грибов с целью лечения или профилактики животных от гельминтозов, которые могут быть опасны и для человека. Поскольку грибные хламидоспоры остаются жизнеспособными при прохождении через пищеварительный тракт, хищные грибы продолжают «работать» и в экскрементах, тем самым оздоравливая не только самих животных, но и окружающую среду.

Что же касается антигельминтных препаратов для человека, то перспективным направлением может быть получение активных малотоксичных природных соединений из биомассы хищных грибов, любое количество которой можно легко получить по уже разработанным технологиям. Для повышения эффективности и снижения токсичности таких природных антигельминтиков их можно заключать в транспортные структуры типа липосом, что позволит уменьшить дозировку препарата.

В промышленно развитых странах биотехнологическое направление, связанное с разработкой биологической защиты, недаром является приоритетным: на каждый вложенный в эту область доллар получают до 150% прибыли (Яценко, 2008). Рынок микробиологических биопестицидов растет быстрыми темпами: так, только в США за последние двадцать лет он увеличился почти в пять раз.

Однако доля биологических средств защиты по сравнению с химическими остается в целом невысокой, особенно в странах с интенсивным земледелием. Поэтому так важны отечественные биотехнологические разработки, которые уже сегодня можно применять в растениеводстве и ветеринарии.

Кстати сказать, недавно выяснилось, что биологически активные соединения нематофагового гриба *D. flagrans* действенны и в отношении ВИЧ, вируса гриппа типа А и вируса осповакцины. Все говорит за то, что эти паразитические создания – хищные грибы – еще не раз удивят своих исследователей.

### Литература

Теплякова Т.В. Биоэкологические аспекты изучения и использования хищных грибов-гифомицетов. Новосибирск, 1999. 252 с.

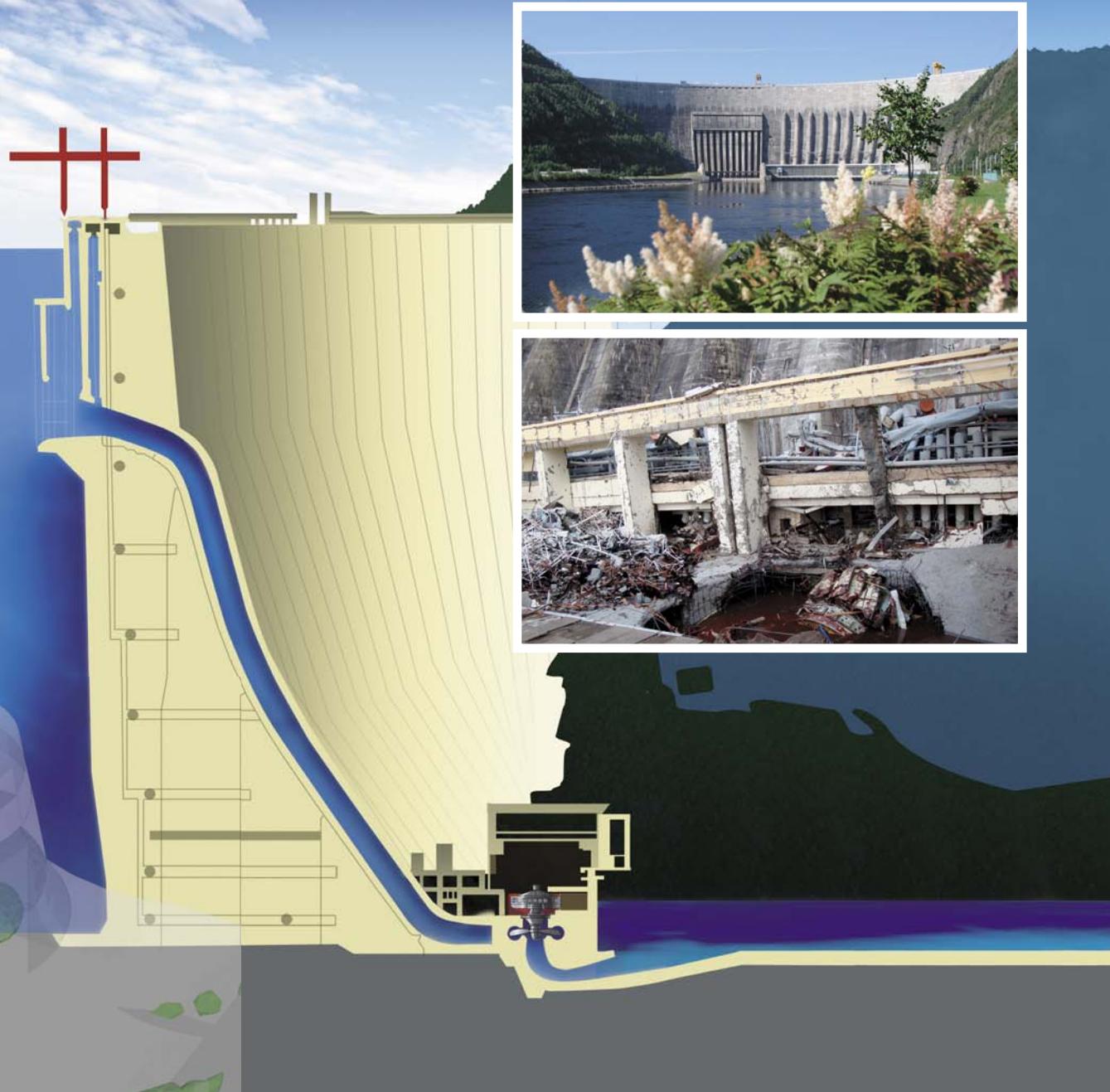
Теплякова Т.В., Ефремова Е.А., Рябчикова Е.И. Хищные грибы-гифомицеты – естественные регуляторы численности паразитических нематод животных // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. М., 2005. № 4. С. 13–17.

Теплякова Т.В., Рябчикова Е.И. Хищные грибы-гифомицеты – естественные враги нематод // Защита растений. М.: ВО Агрпромиздат, 1991. С. 10–12.

В статье использованы фото автора и Е.И. Рябчиковой (ИХБФМ СО РАН, Новосибирск)

А. А. ДЕКТЕРЕВ, А. В. МИНАКОВ, Д. В. ПЛАТОНОВ

# САЯНО-ШУШЕНСКАЯ ГЭС: семь раз отмерить



Главными причинами страшной аварии, произошедшей на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г., были названы сильные вибрации, которые возникали при некоторых режимах работы гидротурбин. Конечно, особенности гидродинамических процессов в турбинах, приводящие к таким нежелательным явлениям, следовало бы учесть еще на стадии проектирования турбоагрегата, но сделать это обычными аналитическими средствами трудно. Однако в наши дни на помощь разработчикам приходят методы компьютерного моделирования, в частности, вычислительной гидродинамики, которые могут существенно облегчить проектирование новых и усовершенствование уже существующих гидроагрегатов

Масштабная авария на Саяно-Шушенской ГЭС, унесшая жизни 75 человек и причинившая многомиллиардный материальный ущерб, произошла 17 августа 2009 г. Причины этой катастрофы стали предметом широкого обсуждения: общественность и специалисты разного уровня дискутировали по поводу различных физических моделей, опираясь на которые можно было объяснить произошедшее.

Как известно, окончательную ясность внесло расследование комиссии Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору: основной причиной аварии стал обрыв шпилек, крепивших крышку турбины, на которые воздействовали сильные вибрации во время работы гидроагрегата.

Испытания турбин Саяно-Шушенской ГЭС, проведенные еще в 1988 г., показали, что при некоторой, далеко не запредельной, частоте вращения рабочего колеса турбины возникали вибрации с амплитудой, превышающей допустимые значения. Причем при увеличении оборотов вибрации сначала усиливались, достигая опасных значений, а затем снова уменьшались, когда агрегат выходил на рабочий режим.

В результате испытаний для гидротурбин были установлены рекомендованные и нерекондованные режимы работы. Но, как выяснилось после катастрофы, во время эксплуатации турбины неоднократно и неконтролируемо выводились на нерекондованный режим, что и привело в результате к аварии и разрушению конструкции 2-го гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС.



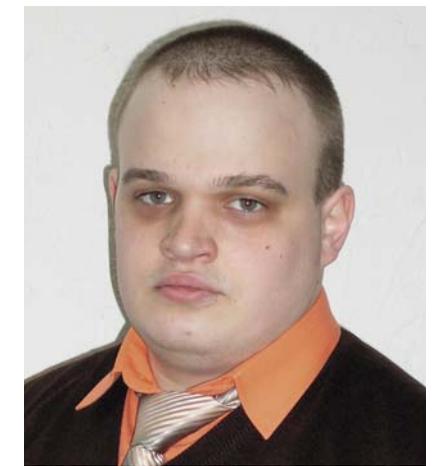
ДЕКТЕРЕВ Александр Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплофизики Сибирского федерального университета (Красноярск), старший научный сотрудник Института теплофизики СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 100 научных работ

© А. А. Дектерев, А. В. Минаков, Д. В. Платонов, 2012



МИНАКОВ Андрей Викторович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теплофизики Сибирского федерального университета (Красноярск), научный сотрудник Института теплофизики СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 40 научных работ

Фото предоставлены пресс-службой Саяно-Шушенской ГЭС



ПЛАТОНОВ Дмитрий Викторович – аспирант кафедры теплофизики Сибирского федерального университета (Красноярск). Автор и соавтор более 20 научных работ

*Ключевые слова:* вычислительная гидродинамика, кавитация, Саяно-Шушенская ГЭС.  
*Key words:* computational hydrodynamics, cavitation, Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station

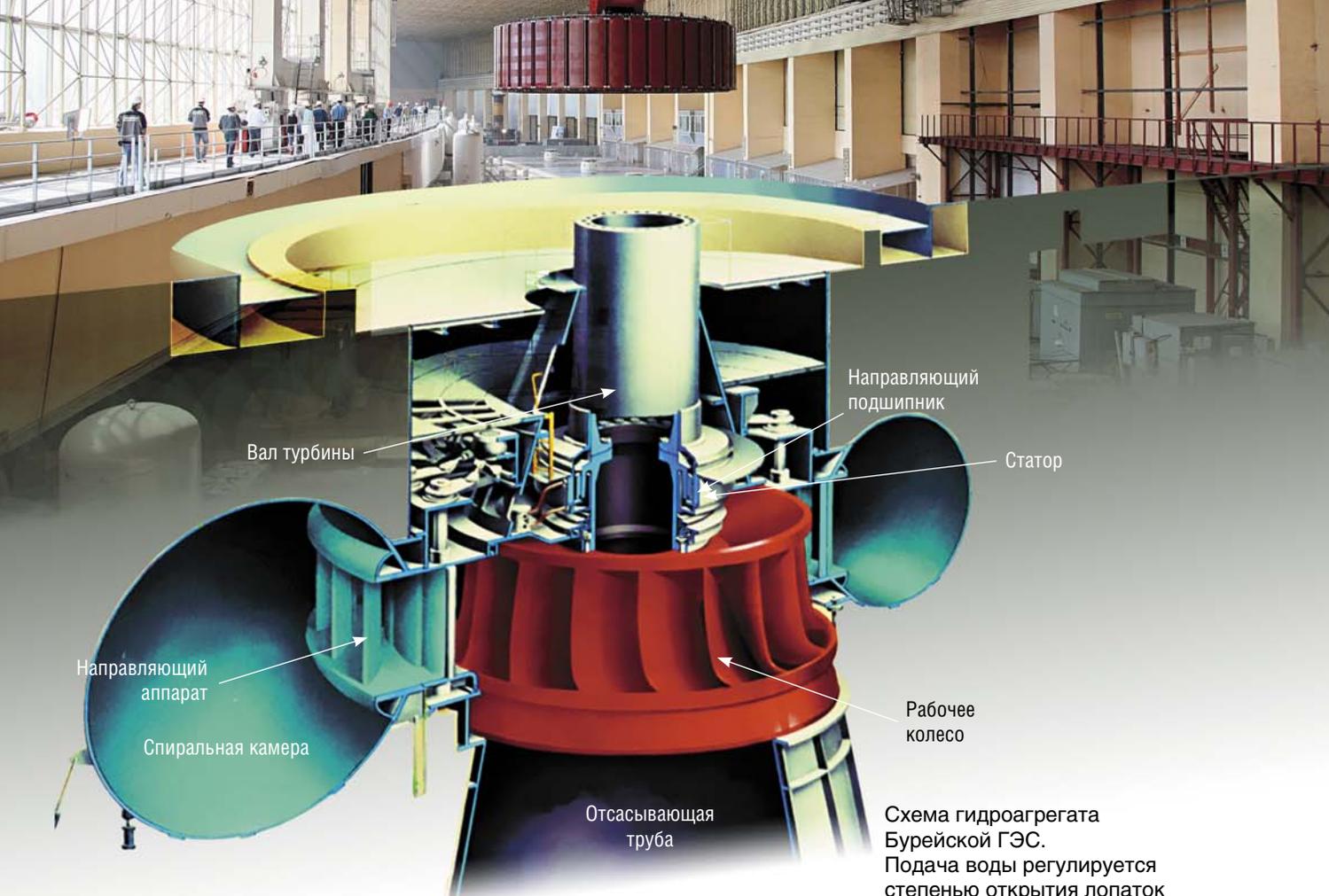
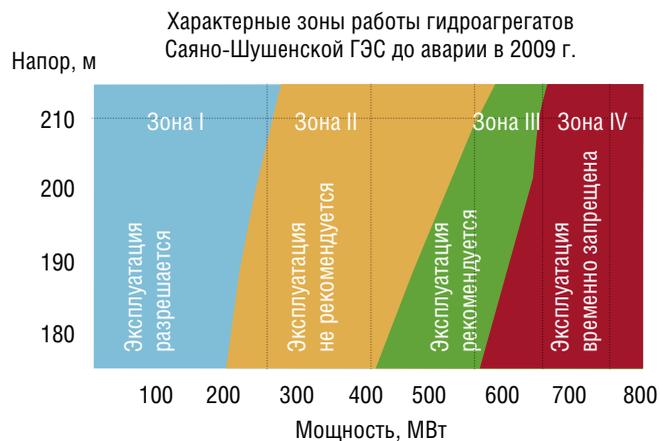


Схема гидроагрегата Бурейской ГЭС. Подача воды регулируется степенью открытия лопаток направляющего аппарата. В отсасывающей трубе под рабочим колесом возникают вихри, создающие пульсации давления и вибрации конструкции

**ИЗ АКТА ТЕХНИЧЕСКОГО РАССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН АВАРИИ, ПРОИЗОШЕДШЕЙ 17 АВГУСТА 2009 ГОДА:**

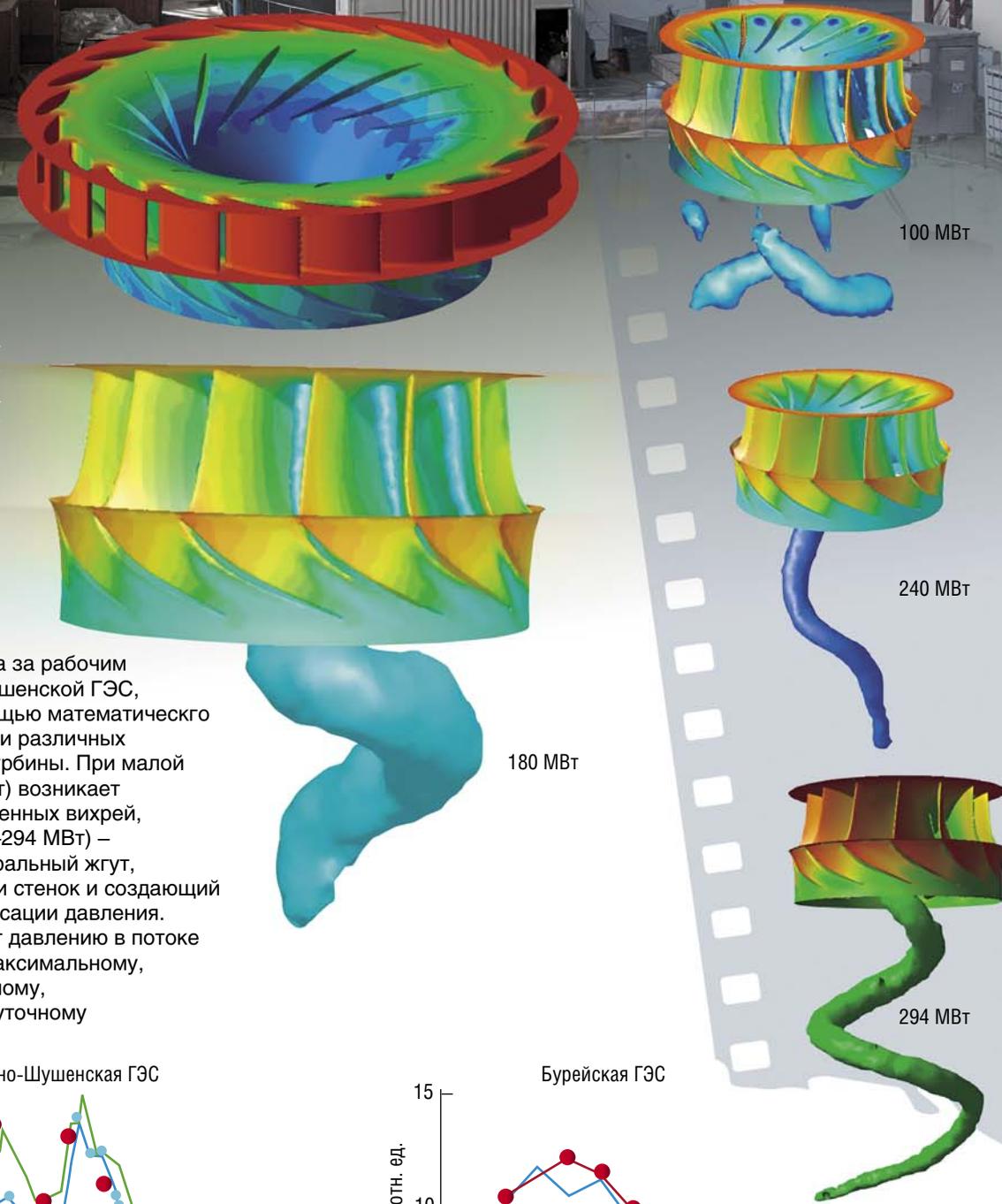
«...Для постоянной эксплуатации турбин рекомендуется диапазон мощностей, соответствующих зоне III, в которой КПД турбин имеет максимальное значение, пульсации давления в проточной части минимальны, вибрационное состояние турбин оценивается как хорошее. Разрешается работа турбин в зоне I, в которой уровень динамических характеристик является допустимым, но уровень КПД турбин низкий. Работа турбин в зоне II не рекомендуется, а в зоне IV (за линией ограничения мощности) — не допускается. При работе в зоне II работа турбины сопровождается сильными гидравлическими ударами в проточной части и значительными шумами, уровень динамических характеристик остается недопустимым...

...Согласно натурным исследованиям завода-изготовителя «зона II – Под РК (рабочим колесом) имеет мощный центральный жгут с частотой вращения 0,4— 0,8 Гц. Эта частота является определяющей частотой вертикальных вибраций корпуса ТП (турбинного подшипника), осевого усилия и пульсаций давления во всех точках проточного тракта турбины (кроме пульсаций под крышкой турбины, где наряду со жгтовой частотой определяющими являются также частоты 4,76 и 200—300 Гц). Определяющей частотой радиальных вибраций корпуса ТП и биения вала является оборотная частота. Работа турбины сопровождается сильными гидравлическими ударами в проточной части и значительными шумами...»

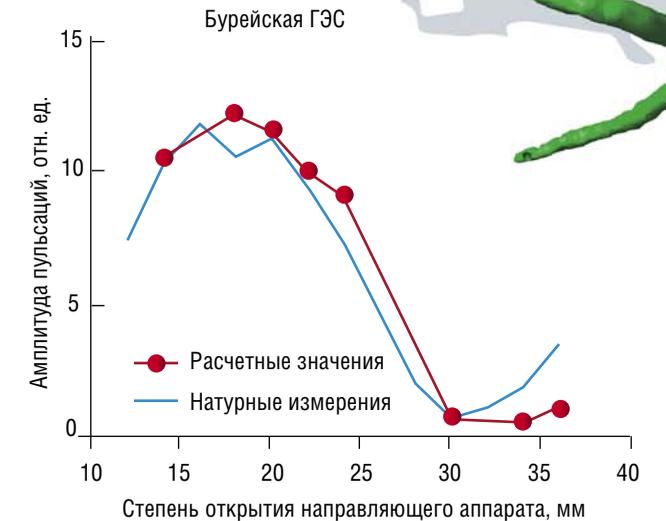
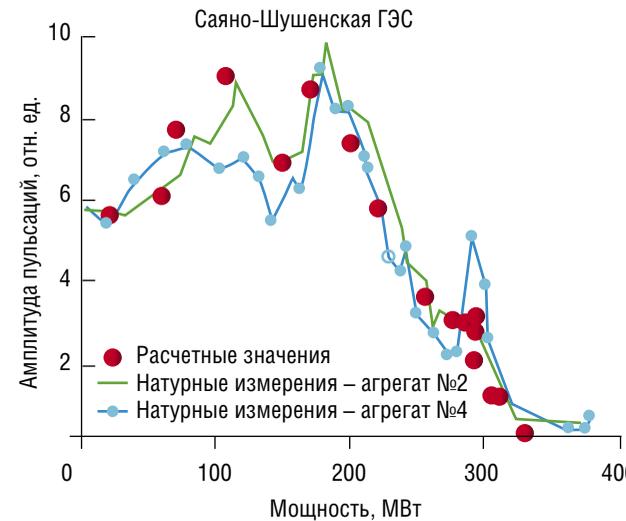


При некоторых режимах работы (в зонах II и IV) турбин Саяно-Шушенской ГЭС возникали вибрации, опасные для конструкции. При эксплуатации турбин режим работы гидроагрегатов часто и неконтролируемо переходил в зону II, что привело к разрушению одного из гидроагрегатов в августе 2009 г.

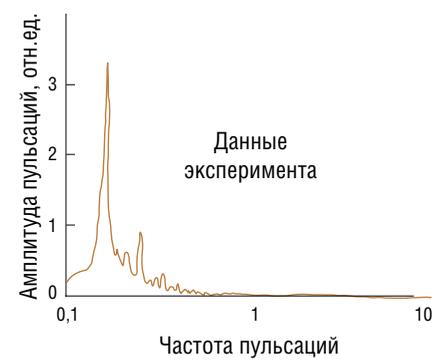
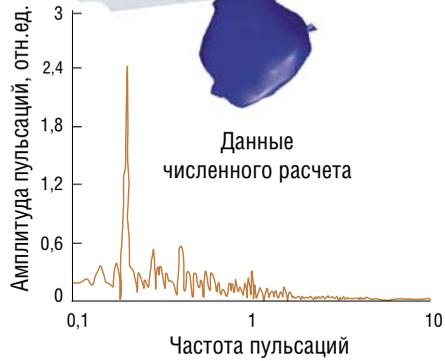
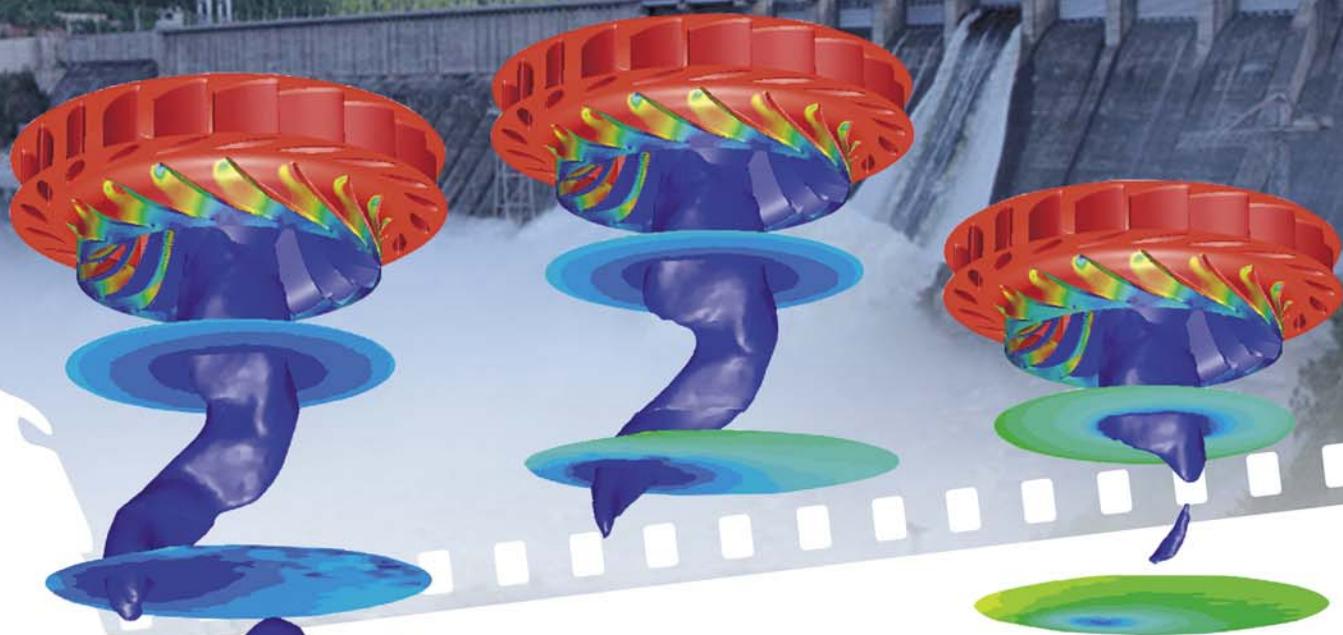
Области давления жидкости в рабочем колесе Саяно-Шушенской ГЭС, полученные с помощью математической модели. Красный цвет соответствует максимальному давлению, синий – минимальному



Вихревая структура за рабочим колесом Саяно-Шушенской ГЭС, полученная с помощью математического моделирования, при различных режимах работы турбины. При малой мощности (100 МВт) возникает несколько обособленных вихрей, при средней (180—294 МВт) – формируется центральный жгут, проходящий вблизи стенок и создающий значительные пульсации давления. Цвет соответствует давлению в потоке воды, красный – максимальному, синий – минимальному, зеленый – промежуточному



Сравнение полученной с помощью численного моделирования амплитуды пульсаций в гидроагрегатах с данными натуральных экспериментов показывает, что численная модель достаточно хорошо описывает происходящие в гидротурбинах процессы



Частотный спектр пульсаций давления в выпускной трубе турбины Саяно-Шушенской ГЭС (до 2009 г.) для режима работы в нерекондованной зоне II. Полученный с помощью численных расчетов спектр приведен в сравнении с данными эксперимента. На обоих графиках виден пик, соответствующий опасным для конструкции вибрациям



Покадровая развертка результатов математического моделирования кавитационной паровой каверны в процессе ее движения за рабочим колесом одной из турбин Саяно-Шушенской ГЭС до аварии. Цветом изображено давление в потоке: красным – максимальное; синим – минимальное; зеленым – промежуточное. Каверна (жгут синего цвета неправильной формы в центре потока) пульсирует, увеличиваясь и уменьшаясь в размерах. Это, в свою очередь, вызывает пульсацию давления в жидкости. Перпендикулярные каверне круги показывают распределение давления в некоторых сечениях выпускной трубы

## Вихри враждебные

Одним из механизмов возникновения пульсаций в гидротурбинах является так называемая прецессия вихревого жгута. Она возникает за рабочим колесом при его перегрузке или недогрузке, когда поток жидкости после прохождения через турбину имеет достаточно большую остаточную закрутку. Возникающие при этом пульсации давления представляют серьезную опасность: они вызывают сильные вибрации конструкции гидротурбины, которые в случае резонанса могут привести к разрушению оборудования. Пульсации давления могут также воздействовать на процессы, усиливающие кавитационную эрозию.

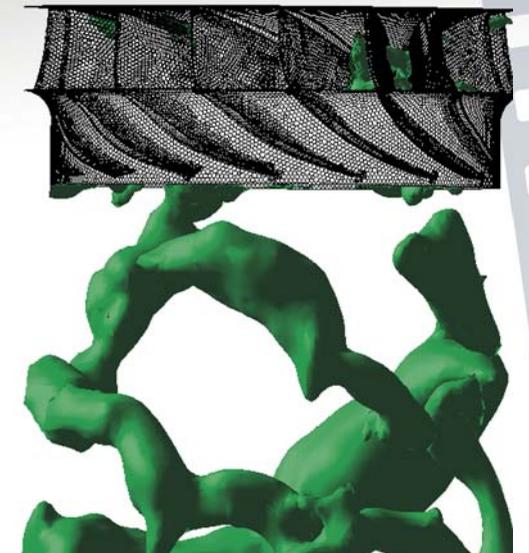
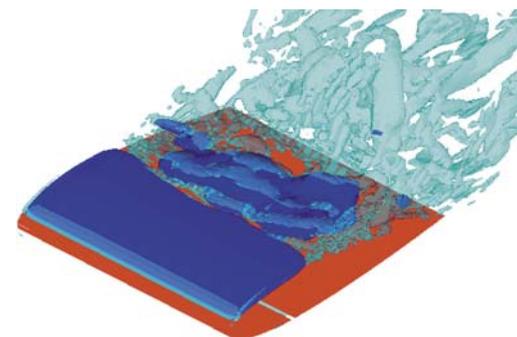
Для прогнозирования резонансных явлений и поиска методов подавления гидродинамической неустойчивости нужно иметь подробную информацию о характеристиках пульсационных режимов и структуре вихрей, возникающих в потоке. Глубокое понимание процессов, происходящих в проточной части гидротурбины, необходимо также для снижения энергетических потерь и повышения коэффициента полезного действия агрегата.

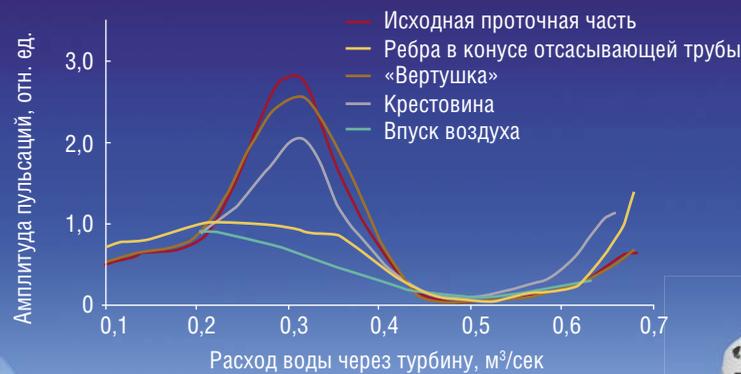
Понятно, что изучать динамику потока гораздо дешевле (в общем-то, и разумнее) не с помощью натурных экспериментов на турбине, уже установленной на гидроэлектростанции, как это произошло на Саяно-Шушенской ГЭС, а на их моделях (уменьшенных копиях) или же при помощи численных методов.

Напомним, что в нашем случае штатное рабочее колесо 2-го гидроагрегата, разрушение которого привело к масштабной катастрофе, было введено в эксплуатацию в ноябре 1986 г., а натурные испытания, выявившие недочеты конструкции, были проведены лишь спустя два года.

С достаточно высокой точностью описывать сложные процессы, происходящие в гидротурбинах, позволяют современные методы математического моделирования. Именно они были применены для моделирования течений в проточном тракте двух гидротурбин Бурейской и Саяно-Шушенской ГЭС, чтобы получить полную картину течения, а также определить пульсационные и интегральные характеристики для большинства режимов работы электростанций.

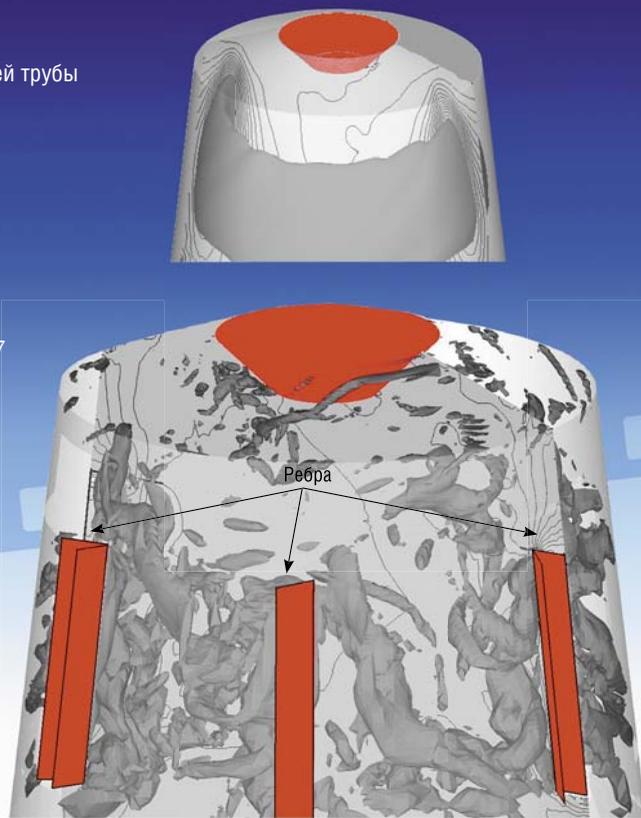
Наблюдая структуру крупномасштабных вихрей, с помощью численного моделирования можно исследовать как кавитационные явления при обтекании индивидуальной лопатки, так и характеристики потока в трубе в целом





Результаты расчетов влияния различных стабилизирующих конструкций на пульсации давления в гидроагрегате. Из графика видно, что наилучший конструкционный способ устранения вибрации – установка ребер в конусе отсасывающей трубы

Полученные с помощью математического моделирования изоповерхности давления в диффузоре отсасывающей трубы гидротурбины. Для сравнения приведен такой же рисунок для трубы без ребер (справа вверху). Наличие ребер приводит к разрушению целостности вихрей и снижает пульсации давления



### Успешная модель

Результаты численного моделирования показали, что при малых открытиях направляющего аппарата в межлопастных каналах рабочего колеса формируются вихри, которые затем срываются с выходных кромок. При этом в диффузоре отсасывающей трубы не происходит формирования единого концентрированного вихря: поток за рабочим колесом состоит из нескольких прецессирующих вихревых структур. Из-за этого в спектре пульсаций давления частоту вихревого жгута выделить не удастся.

При средних открытиях направляющего аппарата в диффузоре отсасывающей трубы формируется один концентрированный вихрь, ось которого сильно наклонена по отношению к центральной оси диффузора, из-за чего вихрь проходит вблизи стенок трубы и вызывает интенсивные пульсации. Спектр пульсаций очень четкий, с максимумом в районе  $f/f_n \approx 0,2$  ( $f$  – частота пульсаций,  $f_n$  – частота вращения рабочего колеса).

Опыт эксплуатации гидротурбин показывает, что на интенсивность нестационарных процессов в турбинах оказывает сильное влияние кавитация, т. е. образование в потоке жидкости газовых пузырьков. Это наблюдение было проверено на модели гидротурбины Саяно-Шушенской ГЭС. Оказалось, что за рабочим колесом турбины формируется концентрированный прецессирующий кавитационный вихрь, на форму кото-

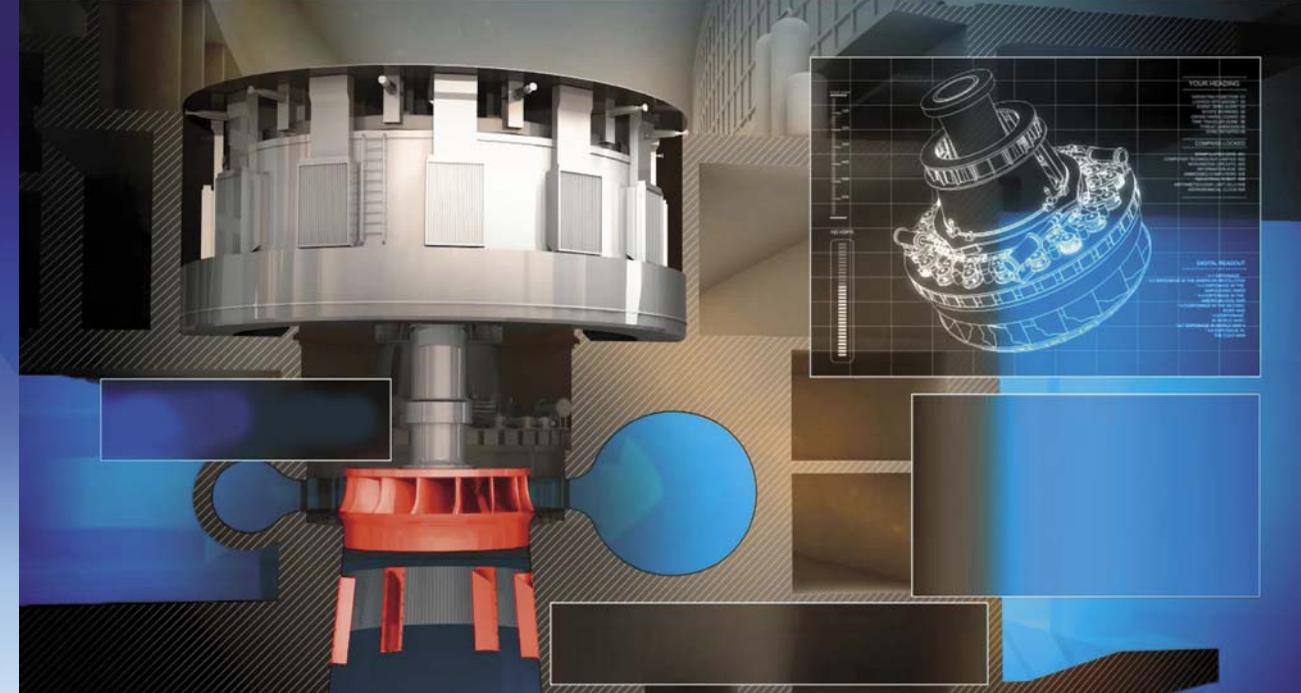
рого влияет степень открытия направляющего аппарата: с его увеличением шаг винта и радиус прецессии вихря уменьшаются.

Пульсационные характеристики гидроагрегатов Бурейской и Саяно-Шушенской ГЭС оказались схожи. И в том, и в другом случае максимальные пульсации наблюдаются на переходных режимах работы, т. е. при наборе и сбросе мощности. Когда же турбина выходит на оптимальный режим работы, в котором она и работает основное время, амплитуда колебаний постепенно снижается практически до нуля.

### Исправить ошибки

Таким образом, судя по расчетным и экспериментальным данным, с помощью моделирования можно воспроизводить основные частоты и амплитуды пульсаций давления в отсасывающей трубе и в спиральной камере турбины как для системы из нескольких вихрей (с частотой  $f/f_n \approx 1$ ), так и для одного концентрированного вихря (с частотой  $f/f_n \approx 0,2$ ).

Работа по моделированию гидродинамических процессов в турбинах проходила в тесном сотрудничестве как с предприятиями по изготовлению и проектированию гидротурбинного оборудования, так и с самими гидроэлектростанциями.



Во время проведения восстановительных работ на Саяно-Шушенской ГЭС в выпускных трубах турбин были установлены стабилизирующие ребра (помечены красным). Благодаря этой модификации были значительно снижены вибрации и эксплуатация гидроагрегатов стала более безопасной. Иллюстрация предоставлена пресс-службой ОАО «Силловые машины»

В России в настоящее время существует единственный завод, который производит гидроагрегаты для высоконапорных ГЭС, – Ленинградский металлический завод (с 2000 г. – филиал ОАО «Силловые машины»). Это предприятие активно сотрудничает с исследовательскими группами, занимающимися моделированием гидродинамических процессов. Данные таких расчетов учитываются при проектировании рабочих колес для гидроэлектростанций, а также при создании экспериментальных исследовательских установок (стендов), необходимых для более детального изучения процессов. В свою очередь, данные, полученные со стендов, используются при верификации численных алгоритмов.

Для подавления нестационарных кавитационных явлений в проточном тракте гидротурбин предлагаются различного рода стабилизирующие конструкции. На сегодняшний день существует множество вариантов таких устройств: это и конструктивные элементы (ребра, крестовины), устанавливаемые в пространстве за рабочим колесом; и другая форма обтекателя рабочего колеса; и устройства для пуска воздуха в пространство под рабочим колесом и т. д.

Перебор всех возможных способов непосредственно на работающем гидроагрегате по вполне понятным причинам не представляется возможным. Зато использование математического моделирования дало возможность в относительно короткие сроки провести оценку всех вариантов, выбрать наиболее перспективные, подробно их изучить и в итоге выдать конкретные рекомендации.

В результате совместного расчетно-экспериментального исследования ученые и представители завода выбрали наиболее подходящую стабилизирующую конструкцию, а именно – стабилизирующие ребра, которые и были установлены на работающем гидроагрегате Саяно-Шушенской ГЭС. Таким образом удалось существенно снизить пульсации давления в выходящем из турбины потоке и снизить вибрации при работе агрегата в переходном режиме. Вот так путем относительно несложной модификации выпускного канала была устранена одна из главных причин, приведших к разрушению гидрогенератора на Саяно-Шушенской ГЭС.

Остается надеяться, что современные методы, в частности численное моделирование, будут широко использоваться и в будущем, при создании новых турбин, что позволит избежать возможных катастрофических последствий. Тем более что для этого не требуется ни многомиллиардный бюджет, ни привлечение зарубежных специалистов.

*Литература*  
Кривченко Г.И. Гидравлические машины. М.: Энергия, 1978. 320 с.

Черный С.Г. Численное моделирование течений в турбомашине / С.Г. Черный, Д.В. Чирков, В.Н. Латин и др. Новосибирск: Наука, 2006. 202 с.

Кирилов И.И. Теория турбомашин. М.: Машиностроение, 1964.

# УГОЛЬНАЯ ТОПКА – ДЕЛО ТОНКОЕ



*В условиях роста цен на нефть и газ наиболее выгодным топливом для производства электроэнергии становится уголь. Современные энергоблоки теплоэлектростанций достигают мощности 1 000 МВт, а сами процессы сжигания угля в котлах настолько сложны, что учесть все детали на стадии проектирования практически невозможно. Точно рассчитать необходимые параметры топочных процессов и найти способы повысить эффективность работы энергоблоков позволяют компьютерные модели*

*Ключевые слова:* топочные процессы, компьютерное моделирование, шлакообразование.

*Key words:* burning processes, computer modeling, slag formation

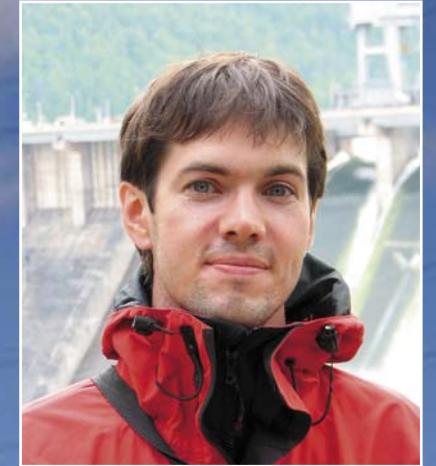
© А. А. Дектерев, Е. С. Тэпфер, М. Ю. Чернецкий, 2012



ДЕКТЕРЕВ Александр Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплофизики Сибирского федерального университета (Красноярск), старший научный сотрудник Института теплофизики СО РАН (г. Новосибирск). Автор и соавтор более 100 научных работ



ТЭПФЕР Елена Сергеевна – кандидат технических наук, научный сотрудник Института теплофизики СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 35 научных работ



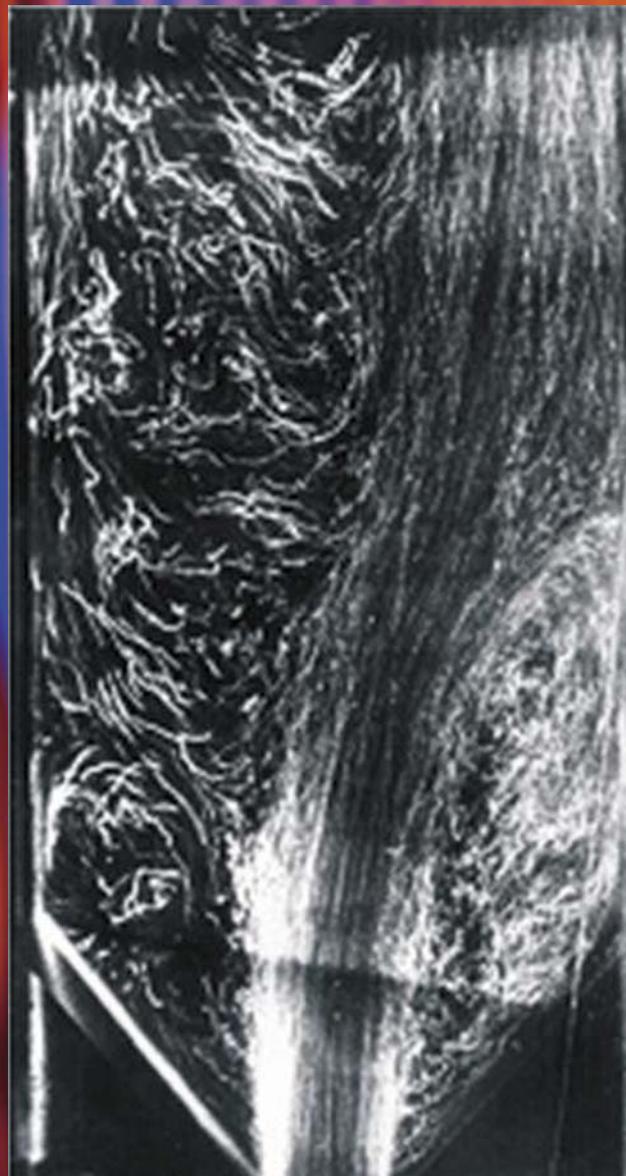
ЧЕРНЕЦКИЙ Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, научный сотрудник Института теплофизики СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 35 научных работ



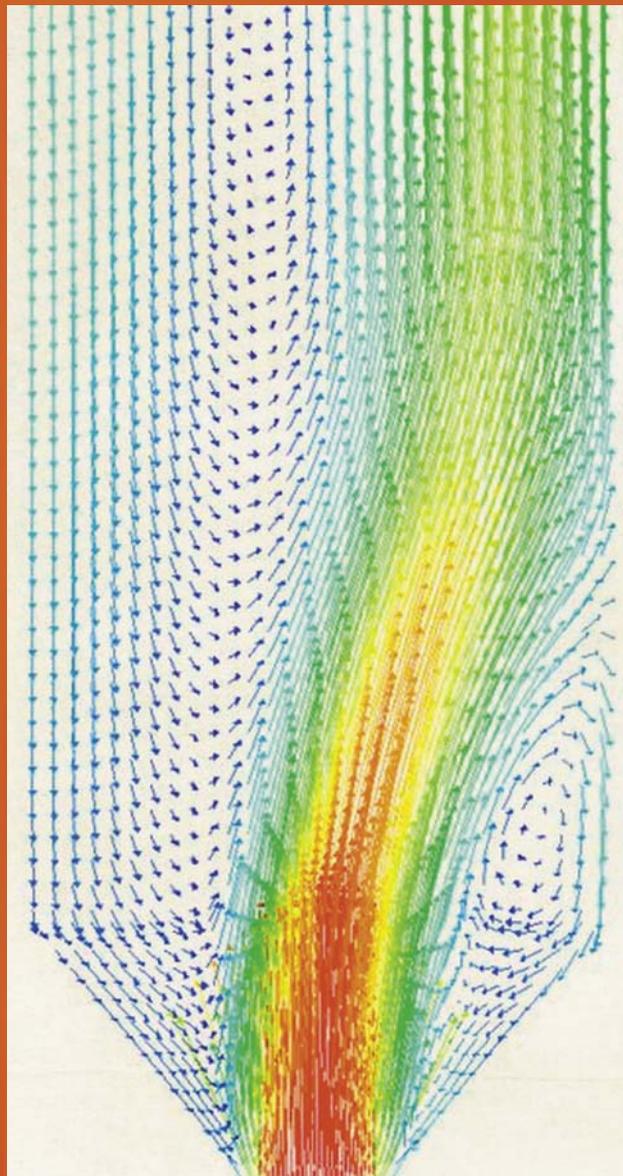
На Березовской ГРЭС (г. Шарыпово, Красноярский край) установлены два угольных котла П-67 проектной мощностью 800 МВт каждый. Станция использует бурый уголь Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна, который поступает на ГРЭС по транспортеру длиной 14 км



Согласно проекту в нижней части топочной камеры котла П-67 – так называемой холодной воронке – должны скапливаться твердые частицы шлака, которые затем удаляются шнековым транспортером. Но во время эксплуатации на стенках холодной воронки могут образовываться шлаковые отложения, которые нарушают работу шнека

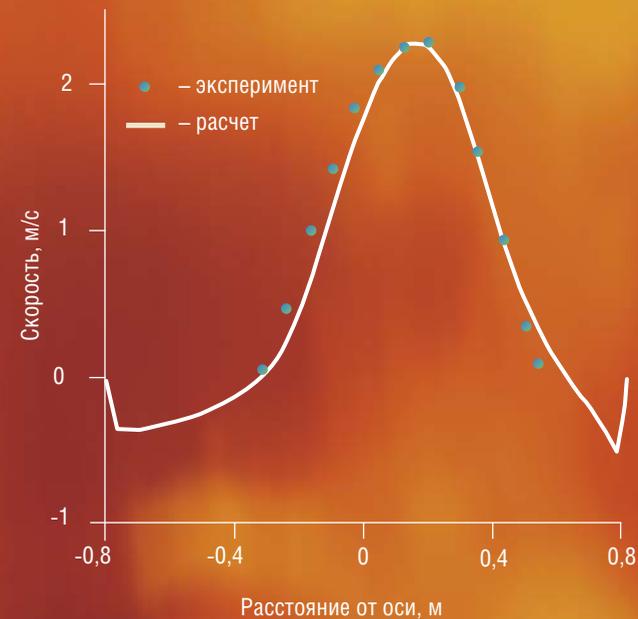


Визуализация течения в модели фонтанно-вихревой топки

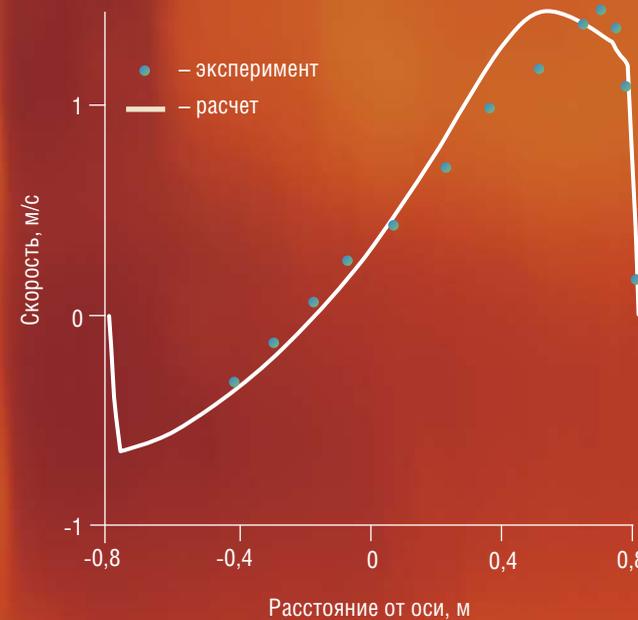


Расчетное поле скоростей в модели фонтанно-вихревой топки

Профиль скорости на высоте топки 110 мм



Профиль скорости на высоте топки 325 мм



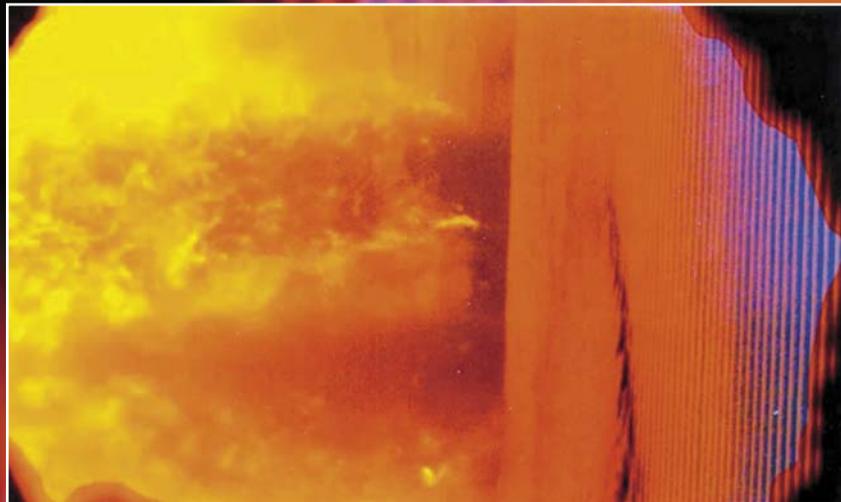
На современных энергостанциях уголь сжигается в факеле в виде пыли тонкого помола, которая вдувается в топку потоком воздуха через специальные горелки. Сама топка представляет собой высокую, несколько десятков метров, башню, внутри которой установлены специальные теплообменники для нагревания («перегрева») пара, подогрева воды или воздуха. Такой способ сжигания угля весьма перспективен, поскольку позволяет сравнительно легко управлять процессом горения.

В советское время основным научным подходом при создании энергетических котлов служило сжигание топлива в экспериментальных условиях. Но таким способом нельзя выявить всех особенностей процессов горения угля, которые проявятся во время штатной, длительной эксплуатации топочных котлов. В том числе определить, как скажется качество топлива на процессах шлакования, т.е. образования связанных отложений на поверхностях нагрева котельной топки.

Для тестирования вычислительной модели, описывающей движение газов в топке, исследовался турбулентный поток в вертикальной призматической фонтанно-вихревой топочной камере с двухскатной воронкой. Топливная пылевоздушная смесь подавалась в камеру через прямооточное прямоугольное сопло снизу, образуя вертикальный фонтанирующий факел.

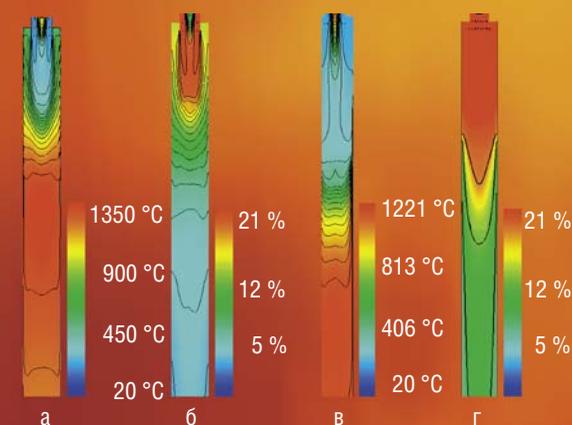
Экспериментальное исследование топочной камеры проводилось в Институте теплофизики им. С. С. Кутателадзе на гидравлическом стенде в изотермических условиях, где аэродинамика реальной горячей смеси угля и газов моделировалась с помощью течения жидкости. Визуализация потока осуществлялась мелкими воздушными пузырьками при боковом освещении их «световым ножом». Уже первые испытания показали, что истекающая из прямоугольного сопла струя устойчиво присоединяется за счет эффекта Коанда к одной из стенок. На базе этого эксперимента было проведено компьютерное моделирование с использованием пакета программ «SigmaFlow». Выбранная модель изотермического движения газов с учетом турбулентности потока и правильно сформулированных граничных условий позволила достичь хорошего соответствия экспериментальным измерениям

Сравнение профилей скорости газовых потоков на разной высоте фонтанно-вихревой топочной камеры, рассчитанных с помощью пакета программ «SigmaFlow», с данными экспериментов показало их хорошее соответствие



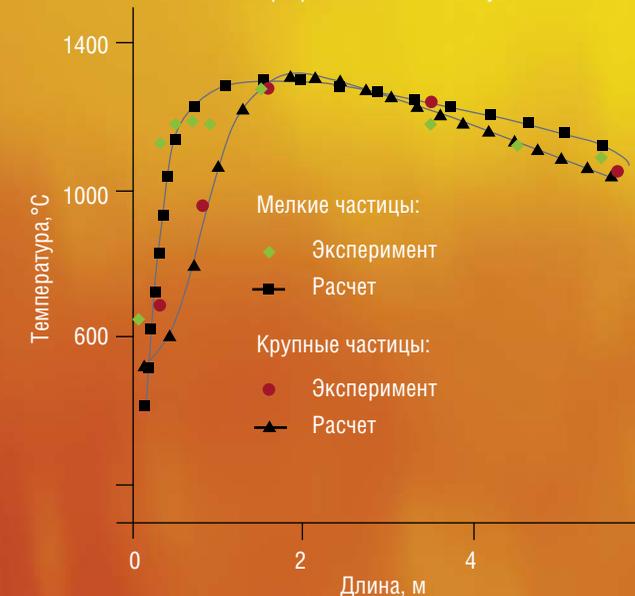
Факел горячей пылеугольной смеси на выходе из горелки. Так как в топке газы разогреваются до высоких температур, при моделировании топочных процессов важно учесть теплообмен. В модели, созданной сибирскими специалистами, учитывается преимущественно радиационный перенос энергии между частицами угля, газом и стенами топки. Именно такой выбор позволяет адекватно описывать процессы, происходящие при горении пылеугольной смеси

Распределение температуры и кислорода в камере сгорания

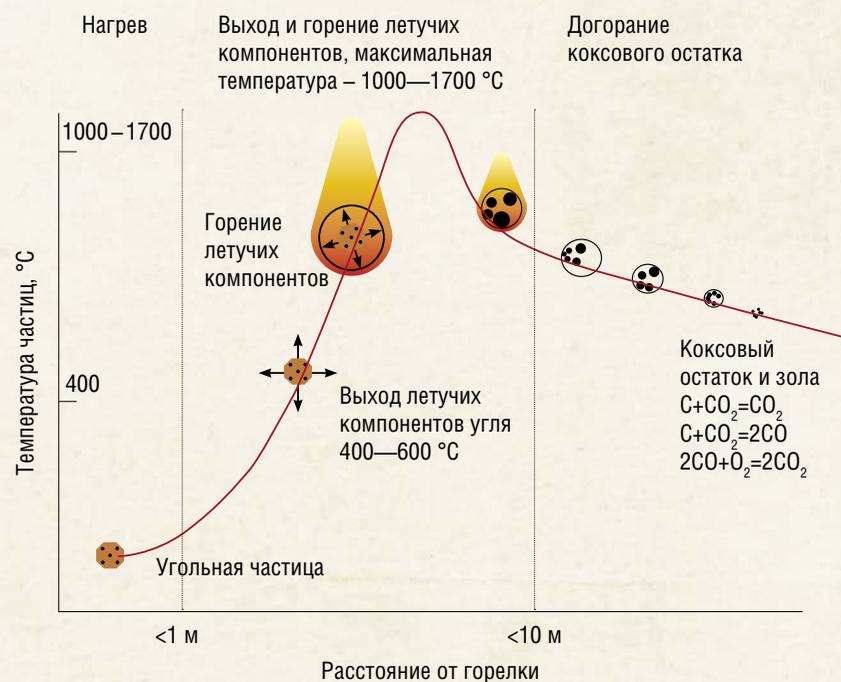


- а) Температура при  $\alpha=1,14$
- б) Концентрация кислорода при  $\alpha=1,14$
- в) Температура при  $\alpha=1,72$
- г) Концентрация кислорода при  $\alpha=1,72$

Температура вдоль камеры сгорания при различном помоле угля



Сгорание угольных частиц происходит в несколько этапов. Сначала частица нагревается, и когда ее температура превысит 400 °С, начинается выделение летучих низкомолекулярных органических соединений, находящихся в составе каменного угля. Они начинают гореть и температура резко повышается. После сгорания всех выделившихся летучих соединений происходит догорание коксового остатка – частичек угля, преимущественно содержащих углерод. Поскольку частицы угля движутся вместе с факелом, берущим начало в сопле горелки, все эти этапы разнесены не только во времени, но и идут на разном удалении от горелки



Для верификации компьютерной модели горения угля были выбраны результаты сжигания бурого ирша-бородинского угля на огневом стенде. Расчеты показали, что уменьшение размера угольных частиц приводит к более раннему воспламенению угольной пыли, а увеличение коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  – к снижению температуры в топочной камере и уменьшению темпа роста температур по длине факела. При этом имеющиеся экспериментальные измерения хорошо совпали с результатами расчетов

### Слишком горячо

В проектировании и технологической доводке котлов П-67 на Березовской ГРЭС, самых больших и мощных в России, принимали участие многие научно-исследовательские институты и машиностроительные заводы, в частности, Подольский машиностроительный завод им. С. Орджоникидзе.

Первый блок ГРЭС был запущен в 1988 г., второй – через три года. Уже через несколько лет работы котлов выяснилось, что, несмотря на все усилия проектировщиков, эксплуатационные характеристики топочных котлов оказались ниже проектных. Причина заключалась в том, что на топочных экранах происходил рост прочных шлаковых отложений.

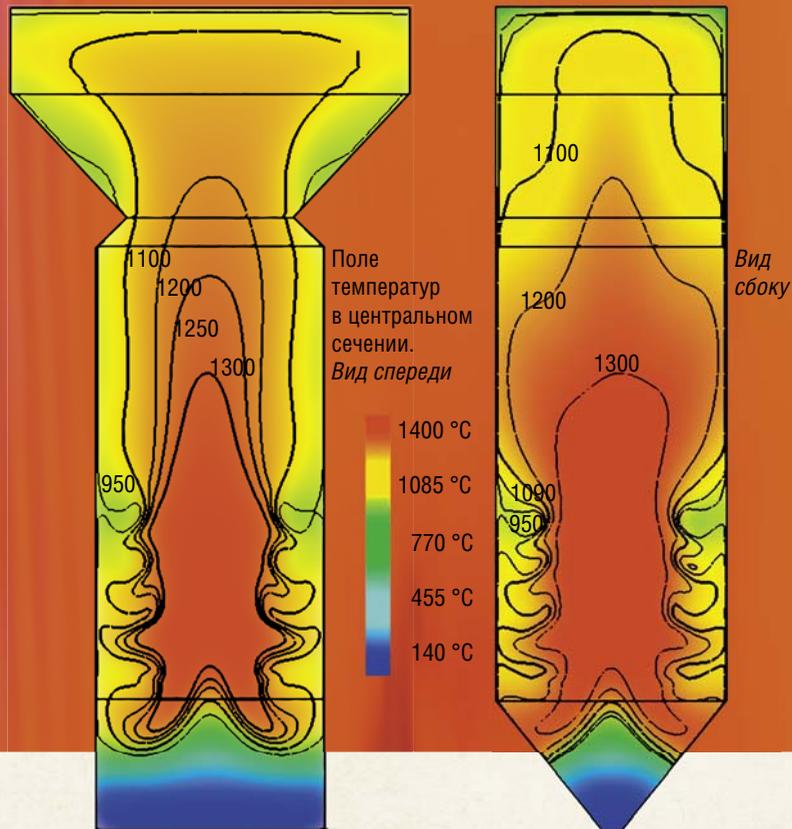
Дело в том, что при сгорании углей получается большое количество золы, способной образовывать шлаковые отложения. Если температура частиц золы будет выше температуры плавления золы, то расплавленный шлак осядет на стенках топки и поверхностях теплообменников, затвердеет и будет мешать работе

**Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  – отношение объема воздуха, подаваемого в топку, к тому объему, который необходим для полного сгорания находящегося в топке топлива. Например для сгорания 1 кг березовского угля нужно около 4,3 м<sup>3</sup> воздуха. Если в пылеугольной смеси содержится 1 кг угля на 8,6 м<sup>3</sup> воздуха, то коэффициент избытка воздуха будет  $\alpha=2$**

котла. Однако если создать температурные условия, при которых зола останется твердой, то основная ее масса попадет в холодную воронку и золу можно будет удалить механически. Например, при помощи шнеков или транспортеров, как это и было задумано для котла П-67.

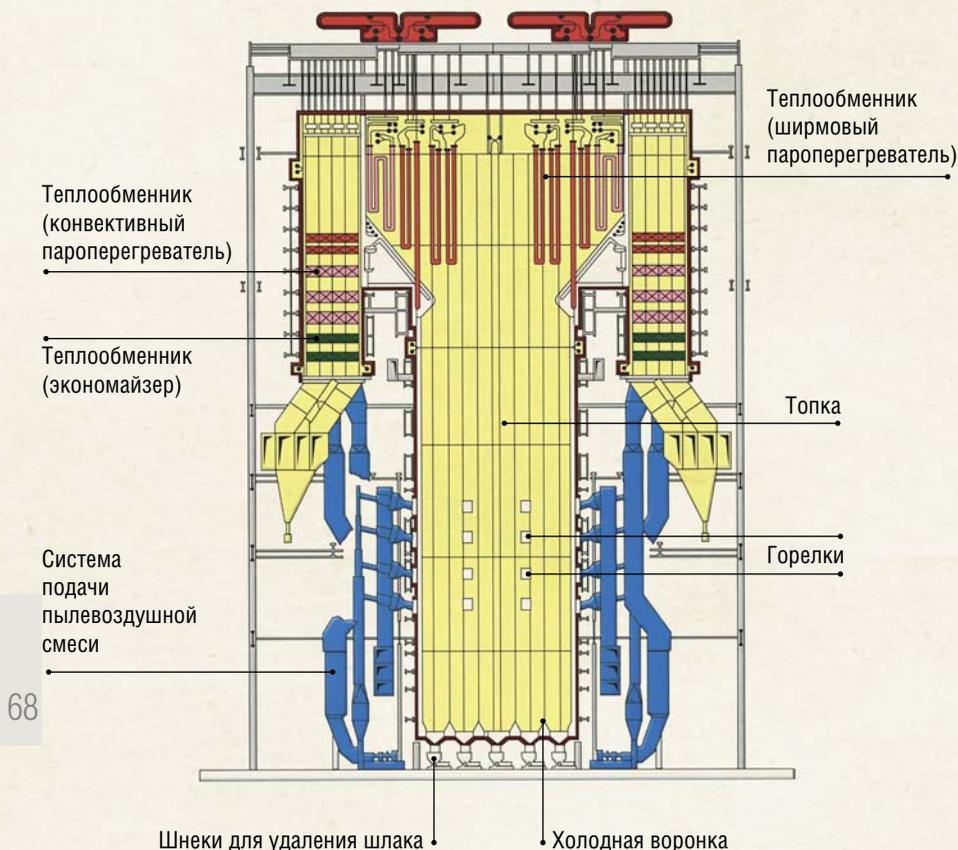
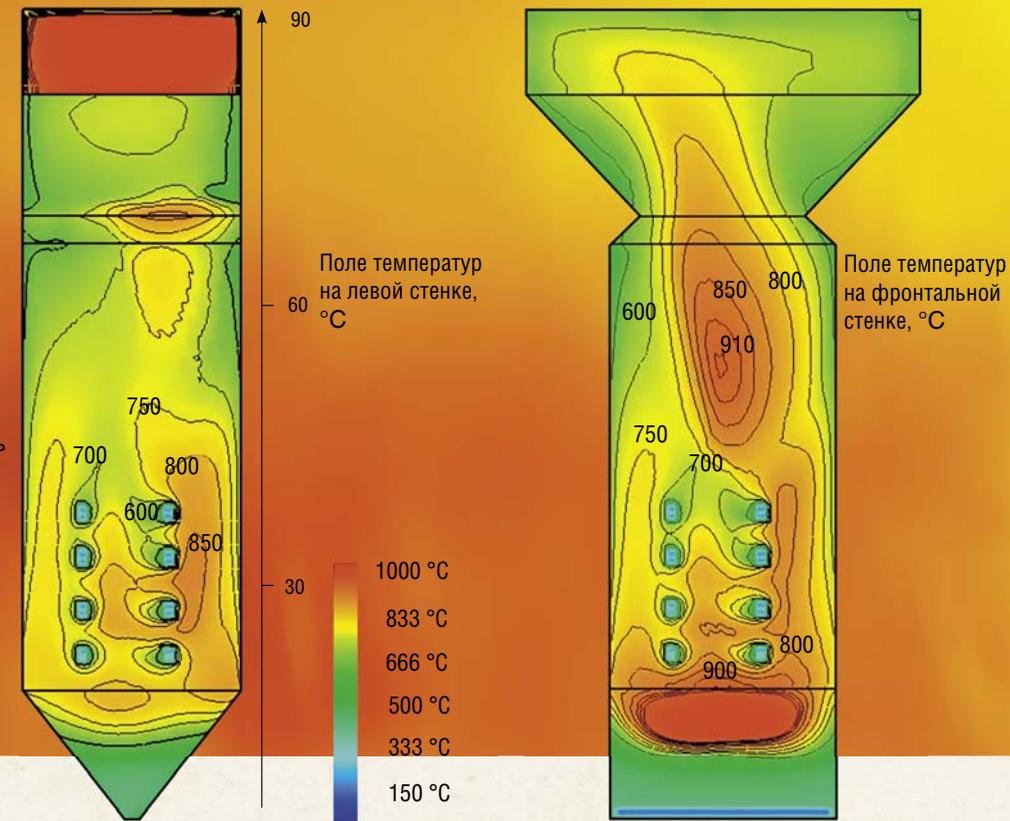
Однако выяснилось, что при достижении номинальной мощности во время эксплуатации котлов показатели интенсивности теплообмена в топке были ниже проектных, наблюдалось прогрессирующее шлакование топочной камеры, сопровождающееся ростом максимальной температуры газов на выходе, которая превышала проектные 1032°С более чем на 100°С. Образовавшиеся глыбы шлака при падении повреждали детали конструкции холодной воронки – нижней части топки под горелками, предназначенной для сбора и удаления твердых частиц шлака, а локальное шлакование ее скатов приводило к вынужденным остановкам котлов.

В угольной топке котла П-67 наиболее крупные (более 300—400 мкм) фракции угольной пыли под действием силы тяжести и в результате наклона горелок начинают выпадать вниз, имея при этом тангенциальную составляющую скорости. С учетом большого времени выгорания они достигают скатов холодной воронки, все еще продолжая гореть. В результате в области стенок холодной воронки температура повышается. Газовый поток с горящими частицами движется по касательной вдоль середины левой и правой стены холодной воронки, постепенно поднимаясь к углам топочной камеры. Догорая, частицы с достаточно высокой температурой формируют шлаковые отложения в форме дуги, тянущейся до верхней части угла холодной воронки. В дальнейшем по углам топочной камеры происходит только подъемное движение газов, у которых тангенциальная составляющая скорости отсутствует. Поэтому по углам топочной камеры не происходит интенсивного шлакования, несмотря на значительное присутствие летучей золы



Измерить температуру, скорость газа и пр. в почти стометровом пламени мощностью 800 МВт обычными средствами достаточно трудно. Современные программы, однако, позволяют рассчитать необходимые параметры, значительно облегчая задачу исследователям и проектировщикам. Создать такую программу – дело не одного десятка лет, нужно учесть все происходящие в топке процессы и тщательно проверить ее работоспособность

Слева - поле температур в центральном сечении котла П-67  
справа - поле температур на стенках котла П-67  
Распределение температур в котле рассчитано с помощью пакета «SigmaFlow»



Пылеугольный котел П-67 – самый большой энергетический котел, производимый в России. Он потребляет примерно 160 тонн угля в час, по мощности (800 МВт) он превосходит гидроагрегаты современных ГЭС. Котел оснащен высокотехнологичным оборудованием – шаровыми мельницами, измельчающими уголь в пыль размером 100 мкм, системами контроля температуры, фильтрами для очистки уходящих газов. Чтобы использовать выделяющееся при горении угля тепло, в котле предусмотрено несколько ступеней теплообменников. Каждый элемент котла насыщен научными идеями из различных областей – теплофизики, теории горения, химии и др.

Поэтому на основании данных балансовых испытаний было предложено понизить рабочую мощность котлов, в результате чего в 2000 г. энергоблоки были перемаркированы с мощности 800 МВт на 700 МВт. Стало ясно, что необходимо искать новые методы, которые помогут устранить недоработки проекта и выйти на проектную мощность.

### Компьютер в помощь

Только через десять лет после ввода в действие Березовской ГРЭС появился новый мощный инструмент для изучения процессов, происходящих в топочной камере. Речь идет о математическом моделировании, позволяющем изучить аэродинамику топки, теплообмен, процессы образования оксидов азота и шлакования для различных режимов эксплуатации и вариантов реконструкции топочно-горелочного устройства. Разработкой такой компьютерной модели занялись специалисты Института теплофизики СО РАН (Новосибирск) и Сибирского федерального университета (Красноярск).

При создании методики численного моделирования топки было необходимо выбрать из большого числа существующих моделей физических процессов тот минимальный набор, который позволил бы достоверно описать интересные явления и проверить

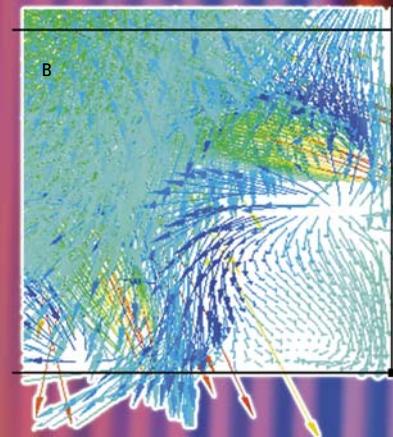
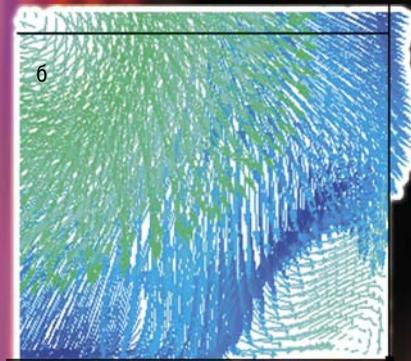
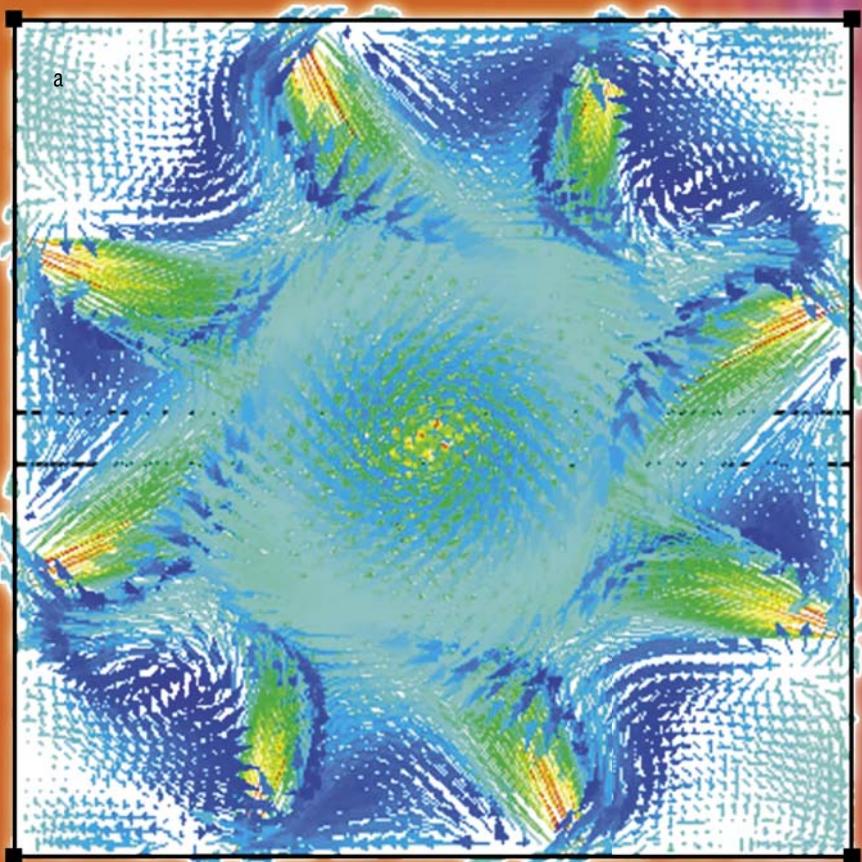
адекватность выбранных методик расчета, сравнив их с экспериментом. Ведь процесс шлакования далеко не прост: он является своего рода результирующей всех процессов, происходящих в топочной камере, от аэродинамических до тепловых. Также на него влияют и свойства минеральной части топлива.

Поэтому разработка самой концепции математического моделирования шлакования началась лишь два десятилетия назад, когда появились мощные вычислительные ресурсы, позволившие рассматривать все вышеперечисленные процессы в совокупности.

В конечном итоге на свет появился программный продукт «SigmaFlow», который позволил с высокой точностью провести численные исследования и определить наконец причины образования шлаковых отложений в топке котла П-67.

Было установлено, что аэродинамическая структура газовых потоков в топочной камере обладает высокой неравномерностью: крупномасштабный центральный вихрь инициирует вторичные вихри в углах топочной камеры, которые приводят к набросу потока на стенку топки, температура которой начинает повышаться. На этой перегретой поверхности образуются шлаковые отложения.

Отложение шлака происходит также около горелок, особенно по нечетным вертикальным рядам.



Векторное поле скорости газов (пламени) в топке котла П-67 рассчитано с помощью пакета «SigmaFlow»:

- а) восемь горелок первого яруса создают вихревое течение, улучшающее условия горения пылеугольной смеси;
- б) в углу топки образуется мертвая зона, в которой вихри менее интенсивны, чем в центре;
- в) между ярусами горелок есть зоны, в которых происходит наброс потока на стенку камеры котла

Основная причина этого явления – осаждение мелкой фракции золы, частицы которой вовлекаются в движение вторичными вихрями в углах топочной камеры. Обладая достаточно высокой температурой, они достигают экрана, где и образуют шлаковые отложения.

Еще одно место интенсивного шлакования находится на фронтальной и задней стенках котла выше зоны активного горения – на высоте 45–65 м. На этом уровне центральный вихрь, раскручиваясь, быстро теряет осевую симметрию и приобретает овальную форму, вытянутую к фронтальной и задней стенкам. В результате там образуются области с высокой температурой, и расплавленные частицы золы «набрасываются» на стенки газовым потоком.

### Шлаку – нет!

На основе численного моделирования и результатов ряда других исследовательских работ было предложено несколько способов решения проблемы шлакования. Было рассмотрено несколько вариантов топки: с организацией нижнего дутья с подводом воздуха в холодную воронку; с концентрической ориентацией горелок; с комбинацией нижнего дутья и концентрического сжигания; организацией воздушного дутья выше зоны активного горения и т. д.

Результаты численных исследований показали, что максимальный эффект по снижению шлакования поверхностей нагрева относительно «базового» варианта достигается при использовании блоков воздуш-

Отложения шлака на фронтальном экране котла № 1 Березовской ГРЭС. Слева внизу – результаты моделирования, справа внизу – фотография котла изнутри. Видно, что результаты расчетов хорошо отражают реальную картину. Программа, рассчитывающая процессы шлакообразования в энергетическом котле, – мощный инструмент, позволяющий без проведения трудоемких экспериментов оптимизировать работу энергетического агрегата

ных завес и нижнего дутья; а максимальный эффект по снижению выбросов  $\text{NO}_x$  – двух ярусов сопел дутья, расположенных на высотах 45 и 65 м.

В результате для реконструкции котла был выбран вариант топки с нижним воздушным дутьем. Расчетным путем были также проанализированы разные способы подвода воздуха в холодную воронку, и из них выбран оптимальный, способствующий равномерной подаче воздуха в топочную камеру.

Кроме того, с помощью численного моделирования было исследовано влияние степени помола угольной пыли на эффективность топочного процесса. Согласно расчетам, загрузка нижних ярусов горелок более грубой пылью снижала содержание золы в верхней части котла. При этом повышался провал частиц угля в холодную воронку, однако этому при нижнем дутье препятствовал поток воздуха, идущий снизу вверх. А за счет подвода дополнительного кислорода оказалось возможным снизить содержание несгоревшего углерода в частицах.

Один из энергетических блоков Березовской ГРЭС был реконструирован в 2010 г. Его дальнейшая эксплуатация показала, что он может длительное время нести максимальную нагрузку на уровне проектной, т. е. 800 МВт.

На примере Березовской ГРЭС мы видим ту огромную бесспорную пользу, которую может принести применение современных методов математического моделирования при проектировании крупных технологических объектов. И дело здесь не только в оптимизации эксплуатационных параметров, но и в значительной экономии средств на разработку: ведь гораздо дешевле просчитать интересные процессы, чем проводить натурные эксперименты.

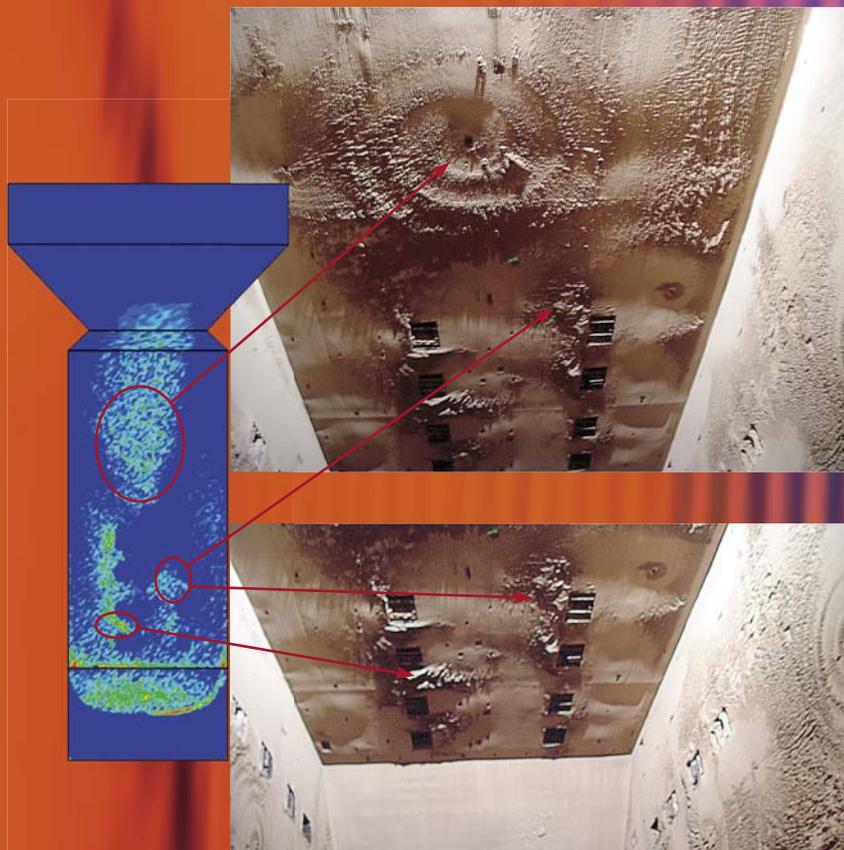
Дело за малым – важно, что бы этими возможностями воспользовались производители энергетических котлов, гидротурбин, атомных станций и других крупных, высокотехнологичных и нередко представляющих экологическую угрозу объектов нашего промышленно-энергетического комплекса.

#### Литература

Белый В.В и др. Исследование теплообмена и модернизация топочной камеры котла П-67 блока 800 МВт газа // Теплофизика и аэромеханика, 2007. Т. 14. № 2. С. 299–312.

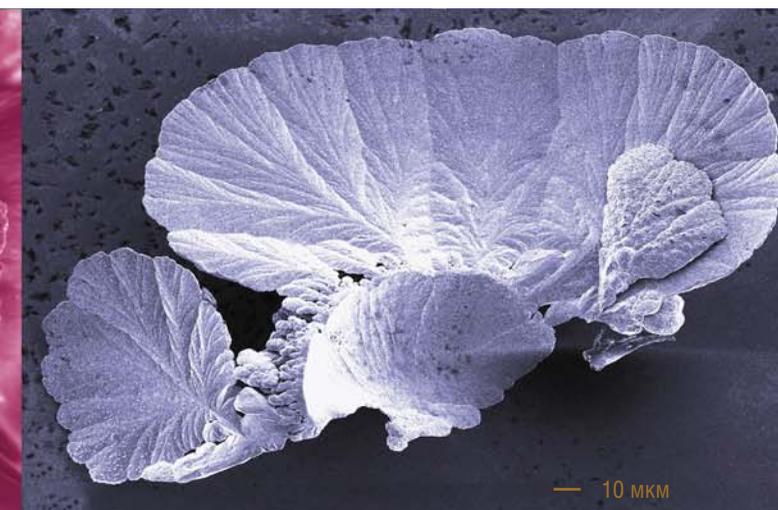
Backreedy R.I. et al. Modelling pulverised coal combustion using a detailed coal combustion model, Combustion Science and Technology. 2006. № 178(4). P. 763–787.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (гос. контракт № 16.516.11.6036)



Г.К. СТРУКОВА, Г.В. СТРУКОВ

# КОГДА металл растет как ЦВЕТОК



Как в каждой шутке есть доля шутки, так и в каждом случайном открытии есть только доля случайности. Для пессимиста стакан всегда наполовину пуст, для оптимиста же – наполовину полон. Оптимист от науки не отправит в мусорный ящик «грязь», оставшуюся на фильтре после осаждения металла, но под микроскопом, подобно Левенгуку, увидит в ней новый мир, где ветвятся фрактальные папоротники и распускаются наноструктурные цветы

Юрию Андреевичу Осипьяну – директору нашего института, Учителю и хорошему человеку

*Сотри случайные черты –  
И ты увидишь: мир прекрасен.  
Александр Блок*



СТРУКОВА Галина Кузьминична – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории сверхпроводимости Института физики твердого тела РАН (г. Черноголовка). Автор и соавтор более 120 научных работ, 15 изобретений и 2 патентов

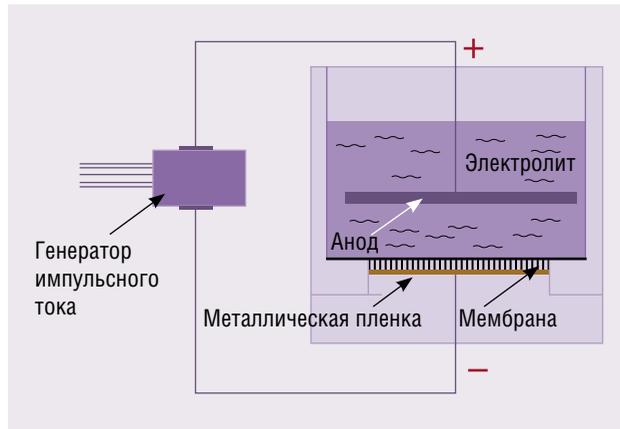
СТРУКОВ Геннадий Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории сверхпроводимости Института физики твердого тела РАН (г. Черноголовка). Автор и соавтор более 80 научных работ, 15 изобретений и 5 патентов

**Ключевые слова:** электроосаждение пульсирующим током на темплатах; самоорганизация; металлические наноструктурные мезоструктуры; биомиметика.  
**Key words:** pulse current electrodeposition on templates, self-organisation, metallic nanostructured mesostructures, biomimetics

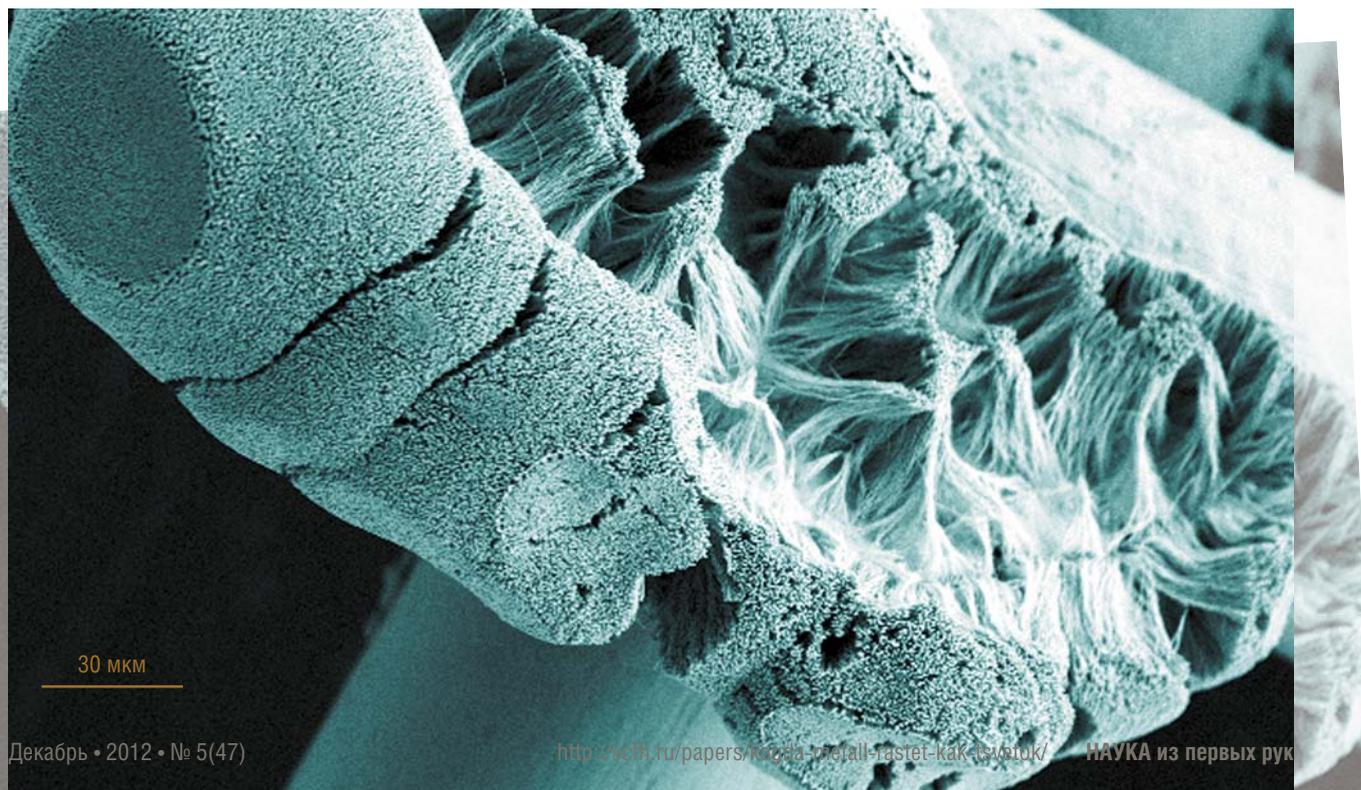
© Г.К. Струкова, Г.В. Струков, 2012

**Н**анопровода – это тончайшие (менее 100 нм в поперечнике и до десятков мкм длиной) нити. Их используют для соединения нано- и микрокомпонентов интегральных схем и микроэлектрических механических систем.

А в одной из последних разработок исследовательского центра американской компании IBM магнитный нанопровод (диаметром 30 нм и длиной 1 мкм) сам стал элементом системы хранения информации, которая кодируется движением вдоль провода доменных стенок (границ между областями с различной намагниченностью), а само движение и считывание информации производят импульсами спин-поляризованного тока. Цель этой



Напроводаки выращивают электроосаждением импульсным током в пористые мембраны из оксида алюминия или полимера диаметром 20 мм и толщиной 30—40 мкм. На одну из поверхностей мембраны напыляют тонкую металлическую пленку, и этой стороной кладут на контакт, соединенный с отрицательной клеммой генератора импульсного тока. Мембрану погружают в раствор электролита, содержащий ионы осаждаемого металла. Сквозь раствор пропускают прямоугольные импульсы тока, при этом амплитуда, длительность и число импульсов и пауз контролируется компьютером.  
По: (Струков и др., 2009)

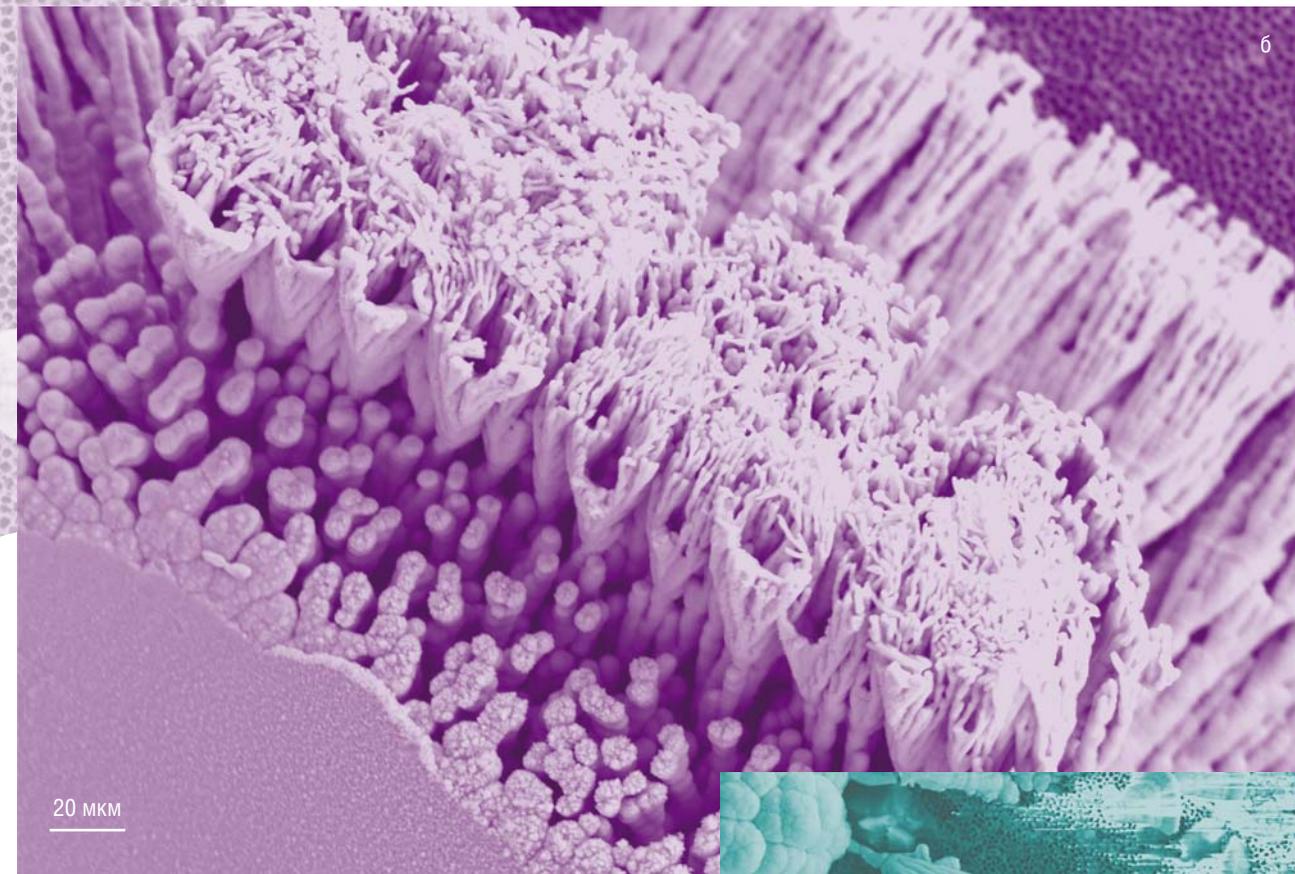
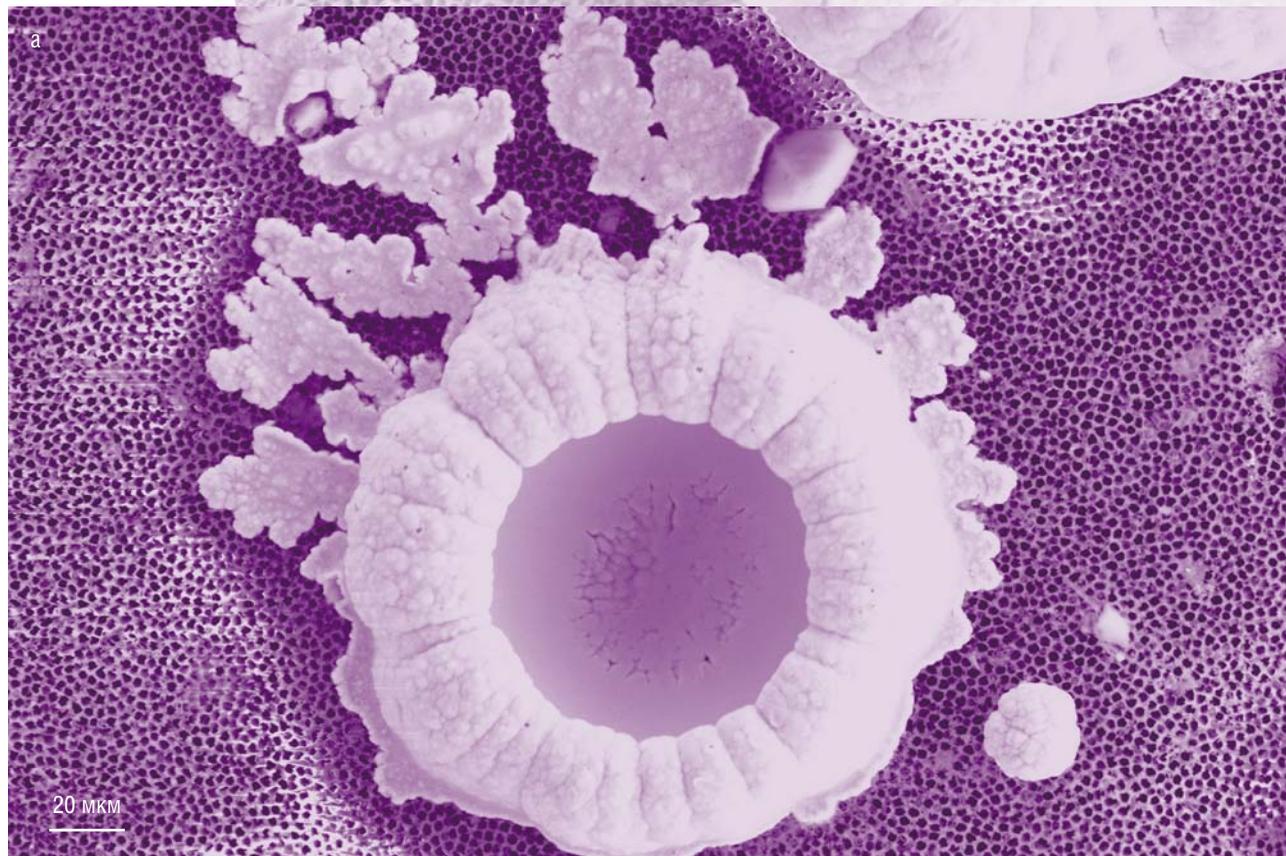


разработки – создание накопителей с повышенной плотностью информации и с малым энергопотреблением (Thomas, 2010).

В Институте физики твердого тела РАН (г. Черноголовка Московской обл.), где материаловедение является одним из главных научных направлений, успешно занимаются разработкой и исследованием наноструктурных металлических покрытий и нанопроводов с магнитными и сверхпроводящими свойствами. Такие сверхпроводящие и магнитные нанопровода используют здесь как удобные «одномерные» объекты для реализации идей в области магнитоэлектроники или «спинтроники», как ее часто называют потому, что здесь «работает» собственный момент импульса (т.е. «спин» электрона).

Такие «грибы» из сплава Pd-Ni получают, как и другие аналогичные им мезоструктуры, в результате самоорганизации вырастающих из мембраны нанопроводов

Так, с помощью гибридных наноструктур, созданных в институте, группе проф. В. В. Рязанова из лаборатории сверхпроводимости ИФТТ впервые в мире удалось экспериментально доказать реальность существования так называемого джозефсоновского «р» контакта (Ryazanov *et al.*, 2001), предсказанного российскими физиками для слоистых «сверхпроводник-ферромагнетик-сверхпроводник» еще три десятилетия назад (Булавский и др., 1977; Буздин и др., 1982). Эти результаты дали толчок к развитию исследований, в перспективе



которых просматривается создание эффективной сверхпроводящей цифровой электроники.

### Оживший металл

Возвращаясь к нанопроводам, отметим, что за последние 15–20 лет их научились выращивать во многих лабораториях мира самыми разными методами: из газовой фазы, гидротермальным методом, химическим и электрохимическим осаждением.

В ИФТТ РАН нанопровода выращивают электроосаждением импульсным током в пористые мембраны на автоматической установке, позволяющей проводить осаждение из двух ванн с различными электролитами (Струков и др., 2009). Чтобы увидеть конец процесса осаждения визуально, на глазок, исследователи продолжили электролиз, даже когда нанопровода уже вышли на поверхность мембраны. В дальнейшем предполагалось счистить образовавшийся осадок с мембраны, растворить ее и выделить выросшие в порах нанопровода. Но перед этим Г. Струкова, один из авторов, решила рассмотреть «ненужный» осадок в микроскоп.

Снимки, полученные с помощью электронного микроскопа, поразили: металлические мезаструктуры, выросшие на поверхности мембраны, имели удивительное

сходство с биологическими объектами – растениями, грибами, ракушками. Что это – случайность, артефакт, достойный Шнобелевской премии? Однако дальнейшие исследования показали, что эти фантастические выпукло-вогнутые модели воспроизводятся при определенных режимах импульсного тока. А это значит, что процессом формообразования можно управлять!

После дробления таких «ракушек» в ультразвуковой ванне и химического травления полностью выявилась их архитектура. Оказалось, что эти слоистые трехмерные структуры, как из кирпичиков, собраны из наноразмерных конических пучков, которые образовались в результате самоорганизации выросших из мембраны нанопроводов.

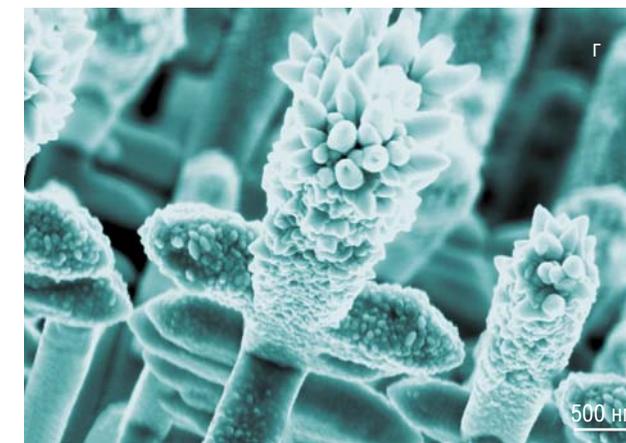
### По единым законам?

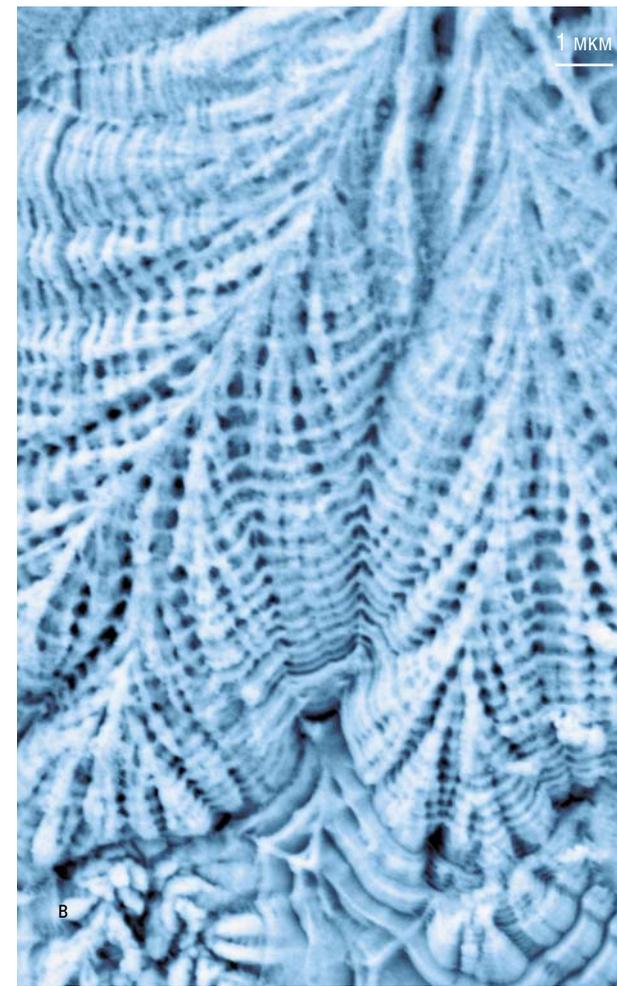
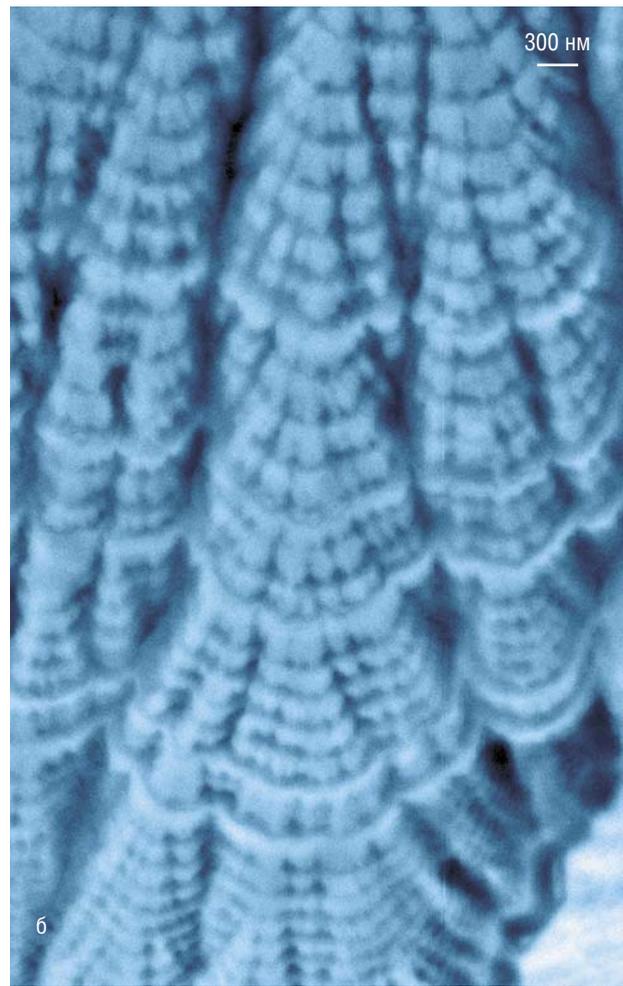
Таким образом, оказалось, что в удивительных металлических образованиях повторяется не только внешняя форма биологических объектов, но и характерная для них иерархическая структура. Значит ли это, что процесс выращивания металлического образца импульсным током на пористой мембране можно использовать как модель формообразования для растений и грибов?

Трудно представить, что все эти фантастические растения – лишь их мезоскопические модели из сплава Pd-Ni: а – аналог «патиссона»; б и в – «водоросли». Соцветие в виде колоса выполнено (г) из сплава трех металлов – палладия, никеля и свинца

Известно, что морфогенез живых организмов, отличающийся чрезвычайной сложностью, включает в себя этапы роста и развития клеточек (цитогенез), тканей (гистогенез) и органов (органогенез), генетически запрограммированные и скоординированные между собой. Ориентация роста в пространстве, т.е. поляризация биологических тканей, регулируется многими факторами, такими как градиенты осмотического давления, кислотность, сила тяжести, контакты с соседними клетками и т.д. И все же нужно признать, что в нашем случае сходство формы живых организмов и металлических моделей не случайно, но обусловлено сходством неких важных закономерностей их роста.

Действительно, в обоих случаях рост происходит на шаблонах («темplatный» рост), роль которых в случае металлических моделей выполняют мембраны с вышедшими на поверхность волокнами (проводами). Рост растений начинается из отдельных точек роста («верхушек роста»), расположение которых определяет будущую





Сложная архитектура металлических «ракушек» выявляется в процессе химического травления: а – поверхность до травления, б – через 10 с травления, в – через 30 с после травления

Эти же аргументы дают основания предположить, что импульсный рост на шаблонах, сопровождаемый самосборкой растущих кластеров и волокон и фрактальным ветвлением, является инструментом формообразования многих грибов и растений. Разнообразие живых объектов обеспечивается богатым набором форм шаблонов и мембран, которые создаются в результате самоорганизации вещества с участием генетического кода, а также разнообразием режимов импульсного роста, скорость которого меняется в зависимости от условий (интенсивность солнечной радиации, наличие воды и химических веществ – стимуляторов роста).

### В конкуренции с природой

Сохранится ли форма металлических моделей и их иерархическая структура при дальнейшем росте? Этот вопрос еще предстоит изучить, но авторам уже удалось вырастить «ракушку» из никельпалладиевого сплава размером 4 × 2 мм.

Еще один важный и насущный вопрос связан с возможными практическими приложениями этих удивительных мезоструктур. Нужно заметить, что сегодня в мире ведется активный поиск материалов, копирующих природные, и биомиметических методов их синтеза (Wang *et al.*, 2011; Corni *et al.*, 2012). Дело в том, что за миллионы лет эволюции природе удалось создать

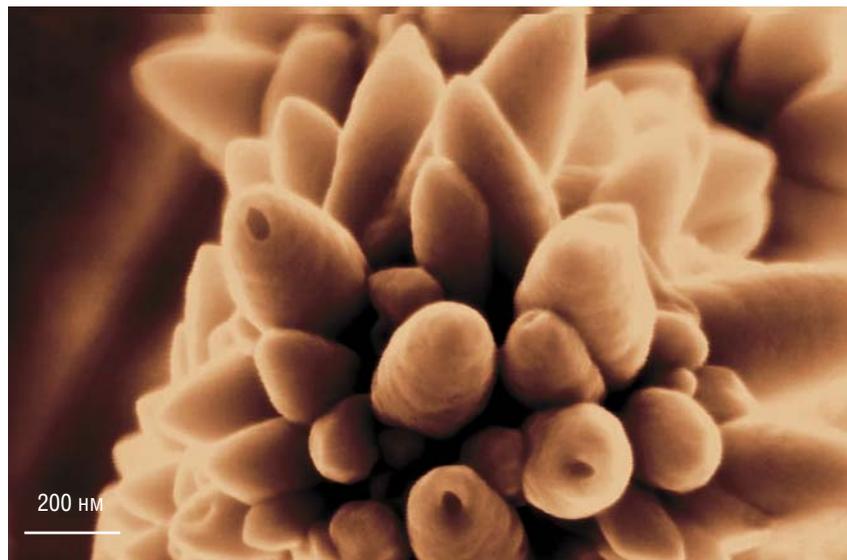
форму растения. Рост металлических кластеров в процессе электроосаждения осуществляется схожим образом: атомы металла присоединяются к «зародышам», расположение которых в массе растущих проводов определяет форму будущей структуры.

Такой механизм роста, так же как и в растениях, приводит к ветвлению и формированию фрактальных элементов. И действительно, практически все выращенные металлические структуры являются фракталами, включая «цветную капусту», «брокколи», «папоротник», «очиток», «капустные листья» и «ракушки». И, наконец, и для живых, и для неодушевленных объектов характерен импульсный или неравномерный характер роста.

Все эти общие признаки, а также многообразие получаемых структур, возможность регулирования их формы, наличие иерархической структуры и, наконец, их удивительное сходство с живыми объектами позволяют отнести электроосаждение импульсным током на темплатах к так называемым биомиметическим методам, т.е. методам, которые работают на основе принципов, реализованных в живой природе.



«Листья лотоса». Сплав Pd-Ni



Полые «бутоны» с отверстием и толщиной стенки 10—30 нм – готовые металлические контейнеры (или реакторы) для нанотехнологий из сплава Pd-Ni-Pb

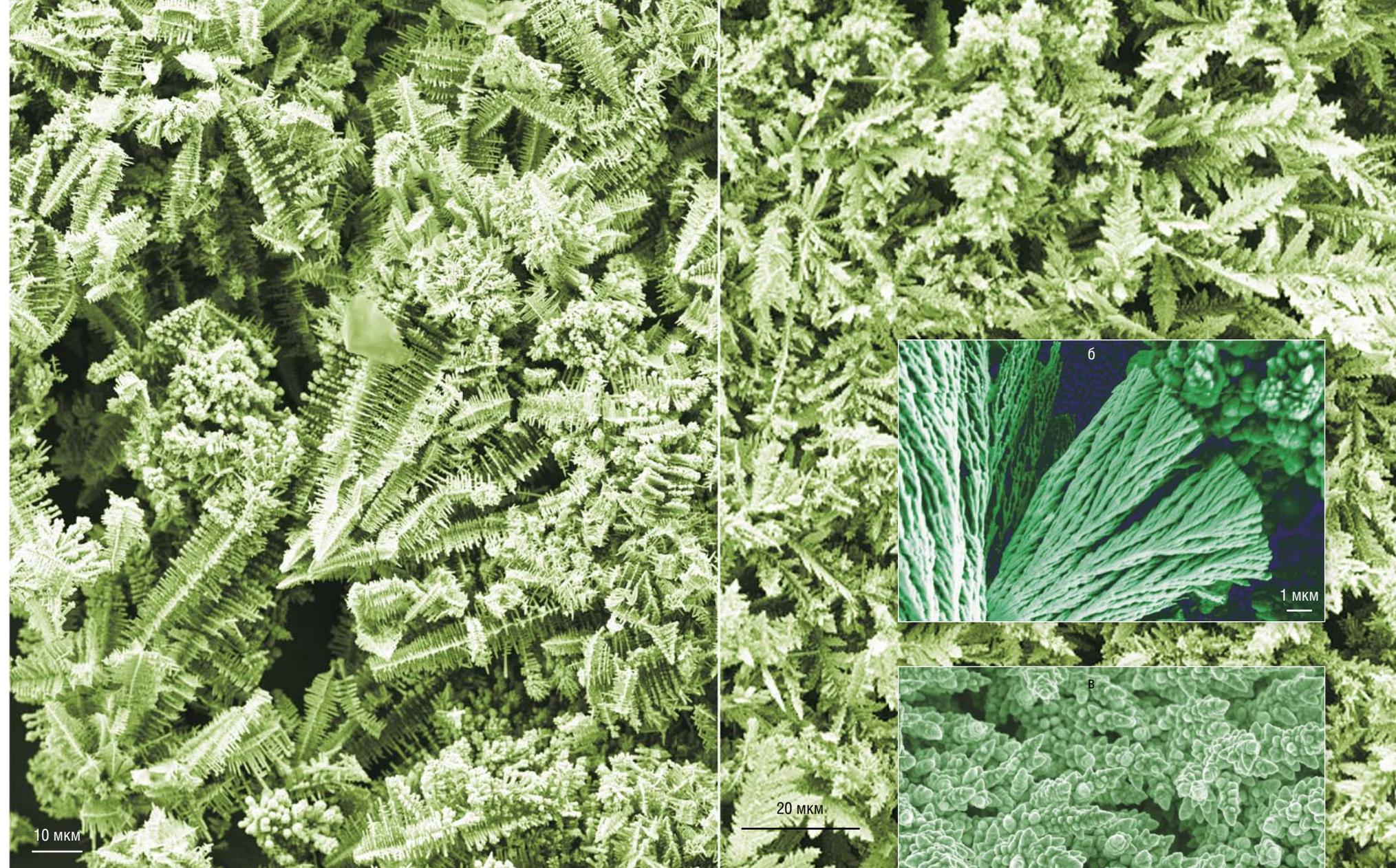
материалы с уникальными характеристиками, пока не достижимыми для искусственных материалов.

Классический пример – лист лотоса, обладающий свойством «супергидрофобности» и способностью к самоочищению. Электронно-микроскопические исследования показали, что этими качествами он обязан особой иерархической структуре поверхности, с шероховатостью на микро- и наноровнях. Разработка металлических супергидрофобных самоочищающихся поверхностей – одно из возможных будущих приложений нового метода. А полые «бутоны» с отверстием и толщиной стенки 10—30 нм представляют собой готовые металлические контейнеры или реакторы, удобные для использования в сфере нанотехнологий.

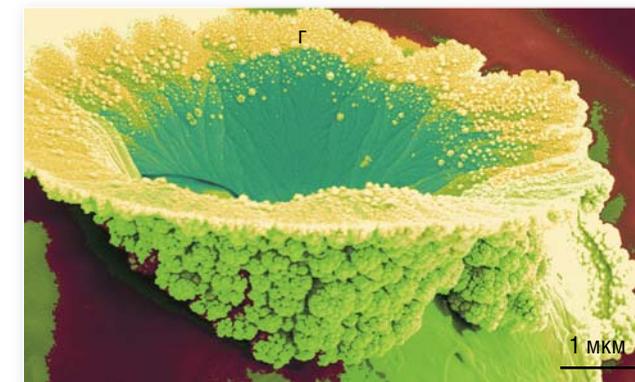
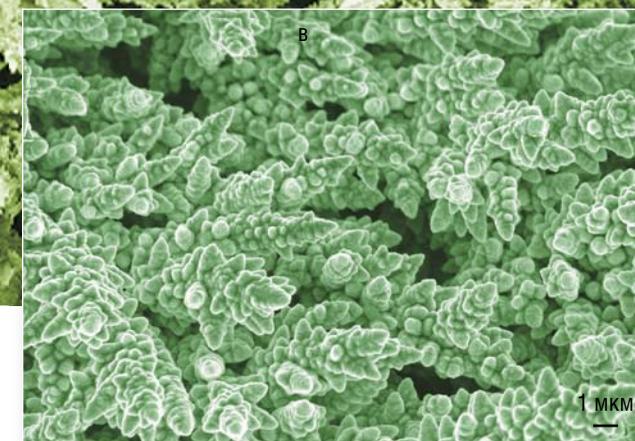
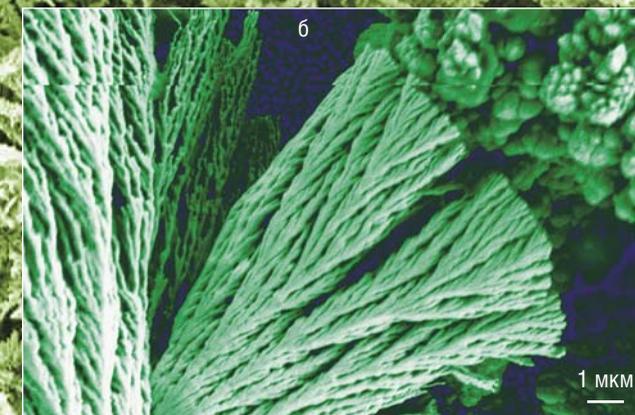
Все полученные электроосаждением импульсным током металлические мезоструктуры обладают большой поверхностью и электропроводящей наноархитектурой, поэтому представляют немалый интерес для применения в электрокатализе, гальванических элементах и электрохимических конденсаторах. Они также могут эффективно использоваться и в областях, связанных с металлическими катализаторами и наноплазмоникой. Например, недавно на композитной мезоструктуре «металл-полупроводник» был достигнут эффект плазмонного катализа, открывающий перспективы более эффективного использования солнечной энергии (Linic *et al.*, 2011).

Н е исключено, что все многообразие структур, которые могут быть созданы новым биомиметическим методом, окажется значительно шире, чем сегодня можно себе представить. Вероятно, в будущем удастся путем самосборки формировать и необходимые физикам элементы гибридных мезоструктур с заданным порядком сверхпроводящих, магнитных и нормальных металлов, исключив тем самым хотя бы часть очень сложных и дорогих операций напыления в высоком вакууме.

Будущие эксперименты должны дать ответы на эти вопросы и, как надеются создатели новой технологии, приблизить время ее практического использования.



а



*Литература*  
Струков Г. В. и др. Установка для получения металлических многослойных покрытий с нанометровой толщиной слоев // Приборы и техника эксперимента. 2009. № 5. С.123–126.

Такой удивительный наноструктурированный лес мог вырасти на фантастической планете Железяка: экзотические листовенные из сплава Pd-Ni-Pb и Ag (а); «водоросли» (б), «хвойная ветвь с шишками» из сплава Pd-Ni (в) и уж совсем невообразимая «раковина-цветок» из сплава Pd-Ni (г)

В статье использованы фото авторов

# В стране диких кенгуру



Кенгуру трудно назвать высоко социальными животными, однако они образуют своего рода сообщества (мобы) – большие группировки, в которых животные совместно перемещаются и пасутся в австралийском буше. И все-таки самые тесные связи между ними – семейные, как между этой самкой восточного серого кенгуру и ее подростом детенышем

*Ключевые слова:* экспедиция, Тасмания, кенгуру, валлаби, асимметрия, поведение.  
*Key words:* expedition, Tasmania, kangaroo, wallaby, asymmetry, behaviour

*Эта история началась в Санкт-Петербурге, когда молодые зоологи, долгое время изучавшие поведение рыже-серых валлаби в зоопарках в рамках магистерского, а позже и кандидатского исследования, пришли к твердому убеждению: выводы, полученные на животных в неволе, следует обязательно проверить в природных условиях. Но где же можно найти диких кенгуру? Конечно же, в Австралии! Но это только в песне поется, что «от России и до Австралии лишь куплет и припев»: одна только подготовка к экспедиции в «страну антиподов» заняла долгие месяцы. Да и сам перелет из «Северной Венеции» до австралийского острова Тасмания, с двумя пересадками, при самом удачном раскладе длится не менее полутора суток. Поэтому, даже уже ступив на землю южного континента, исследователи далеко не сразу смогли поверить, что они действительно находятся на этой казавшейся такой недостижимой другой стороне планеты*

*В публикации использованы фото авторов © А. Н. Гилёв, К. А. Каренина, 2012*



ГИЛЁВ Андрей Николаевич – аспирант кафедры зоологии биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Награжден премией «Transglobe Expedition Trust» (2012). Автор и соавтор 14 научных публикаций. Хобби: путешествия в труднодоступные места планеты, фотография и видеосъемка диких животных



КАРЕНИНА Карина Андреевна – аспирант кафедры зоологии биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Член Европейского общества по китообразным. Автор и соавтор 14 научных публикаций. Хобби: путешествия, наблюдение за редкими видами животных в природе

В качестве исконного и самого знаменитого обитателя южного континента кенгуру стал неотъемлемой частью традиционной и современной австралийской культуры. В виде произведений авангардистского искусства этот образ органично вписывается даже в урбанистический пейзаж XXI в. Еще один легко узнаваемый символ Австралии – эвкалипт, практически «бестеневое» дерево с узкими, повернутыми ребром к солнцу листьями, которых здесь насчитывается несколько сот видов. Среди них эвкалипт фикусолистный (или красноцветный) отличается яркой окраской тычинок



Для всех нас Австралия прочно ассоциируется с кенгуру. Но это огромная страна, и исследователю, мечтающему работать с удивительными сумчатыми животными, необходимо сначала точно определить место, куда следует ехать. Ведь вопреки бытующему мнению кенгуру в Австралии есть далеко не везде, и уж тем более не везде имеется возможность проводить долговременные наблюдения.

Поэтому прежде всего мы связались с одним из известнейших специалистов по поведению кенгуру в Австралии профессором Т. Доусоном из Университета Нового Южного Уэльса. По его мнению, наилучшее место для наблюдений за рыже-серыми валлаби – о. Тасмания, составляющий самый южный штат Австралии. Профессор охарактеризовал Тасманию как cool place, что дало пищу для шуток: понимать ли английское слово cool в его обычном значении – «прохладный» или в сленговом – «классный». (Как выяснилось позже, оба эти толкования оказались справедливы.)

И вот все завертелось: заявки на гранты для поездки, кипы различных документов... Иногда казалось, что два аспиранта слишком самоуверенно взяли на себя самостоятельную организацию экспедиции на другой конец света и что прорваться через бюрократические трудности не удастся. Однако, несмотря на очевидную авантюризм и амбициозность затеи, мы получили одобрение своих родных и полную поддержку словом и делом на родной кафедре зоологии позвоночных

Санкт-Петербургского государственного университета.

Полученное финансирование позволяло организовать краткосрочную поездку на Тасманию для проведения наблюдений за кенгуру и валлаби в Национальном парке Айленд на о. Марайа, где имелась возможность практически одновременно проводить наблюдения сразу за двумя видами семейства кенгуровых – рыже-серым валлаби (*Macropus rufogriseus*) и восточным серым кенгуру (*Macropus giganteus*).

### Из северной весны – в южную зиму

Итак, в мае 2012 г., преодолев свыше 15 тыс. км, мы попали сначала на самый большой «остров» – Австралию, затем на остров поменьше – Тасманию, а затем на относительно небольшой островок Марайа.

Этот остров как место для изучения кенгуру был выбран не случайно. Во-первых, вся его территория, а также часть прилегающей акватории является национальным парком: здесь можно встретить лишь рейнджеров-егерей, которые посменно присматривают за соблюдением правил посещения парка немногочисленными туристами, любителями природы. Во-вторых, остров населяют несколько тысяч кенгуру двух видов, которые к тому же питают здесь к людям гораздо меньше страха, чем в других, не заповедных, местах. Именно





Остров Марайа (от англ. о. Мария) у восточного побережья Тасмании площадью 101 кв. км вместе с частью своих прибрежных вод составляет Национальный парк Марайа-Айленд



По ночам дымчатые лягушкороты сидят на своих постах по обочинам тасманийских дорог и троп, выслеживая добычу. Эти небольшие, похожие на сов неприметные птицы из семейства совиных козодоев питаются в отличие от настоящих сов почти исключительно насекомыми, лишь изредка перекусывая мелкими позвоночными. И ловят они их клювом, а не когтями, как это делают совы



К удивительному геологическому объекту о. Марайа, очень точно называемому «раскрашенные скалы», можно подойти только во время сильного отлива. Эти яркие узоры на отвесном обрыве песчаника «нарисованы» потеками окиси железа

Куриные гуси не имеют ничего общего с курами и относятся к самостоятельному монотипному роду семейства утиных. Это одни из самых редких гусей в мире. Они могут жить на небольших безводных морских островах благодаря способности пить соленую воду. Гуси и кенгуру предпочитают одни и те же открытые местообитания и часто пасутся по соседству. Куриных гусей нельзя назвать мирными птицами: в период размножения они устраивают настоящие сражения за территорию, причем дерутся и самцы, и самки

этими обстоятельствами остров заслужил репутацию «рая» в узком кругу исследователей этих сумчатых животных.

Время года также было выбрано не случайно: в южном полушарии в мае начинается зима, дуют холодные ветры с Антарктиды и температура воздуха на Тасмании обычно составляет от 0 до +5°C. Именно в этот прохладный сезон многие сумчатые, ведущие преимущественно сумеречный и ночной образ жизни, начинают кормиться и в светлое время суток, чтобы восполнить повышенные энергетические траты на обогрев тела.



Одна из редчайших птиц Австралии – тасманийская радужная птица из отряда воробьинообразных. Радужных птиц называют «экспертами по эвкалиптам» за их роль в уничтожении насекомых-вредителей

Карликовая сумчатая летяга, по виду похожая на обычную белку, хотя и меньше ее размером, способна к планирующему полету благодаря кожным складкам между передними и задними лапками. Эти социальные сумчатые живут семейными группами, члены которых делят общее гнездо и совместно охраняют территорию

сразу по прибытии на Тасманию мы пополнили снаряжение запасом еды и газа для ее приготовления.

## В параллельной реальности

Небольшой катер переправил нас из сонной рыбацкой деревушки Трайабанна, что на восточном побережье Тасмании, в «кенгуриный рай» – о. Марайа, где мы должны провести целый месяц в окружении диких животных.

С первых же минут остров покоряет своей первозданной природой: здесь обитает множество удивительных животных, многих из них можно встретить только на Тасмании. Названия некоторых звучат причудливо даже для привычного уха зоолога, причем, как на поверку оказалось, за экзотичными названиями зачастую кроется не менее экзотичная внешность.



Австралийские контрасты: зима южного полушария напоминает о себе июньским утренним снегом

Еще до прибытия в Хобарт – столицу Тасмании, мы уже ясно представляли все, что требовалось сделать перед началом экспедиции. Этим мы были обязаны нашим тасманийским друзьям по переписке, с готовностью отвечавшим на нескончаемый поток разнообразнейших вопросов вроде «А может ли в это время года пойти снег?» и «Продается ли в Австралии картофельное пюре быстрого приготовления?». Пользуясь их советами,

Так, среди пернатого населения острова имеется желтолопастный сережчатый медосос, куриный гусь, сероспинная флейтовая птица, тасманийская радужная птица и даже дымчатый лягушкорот! А среди млекопитающих – тасманийские вомбаты, малые бандикуты, тасманийские филандеры и трехпалые крысиные потору. Ну и, конечно, кенгуру: огромные восточные серые кенгуру, предпочитающие открытые пространства, и более мелкие рыже-серые валлаби, скрытные обитатели густой растительности.

Встреча с этими уникальными млекопитающими всякий раз оставляет неизгладимое впечатление, ведь все они относятся к сумчатым животным, которые обитают только в Америке, Австралии и Океании. Сумчатых от плацентарных, к которым относимся и мы с вами, отделяет ряд принципиальных отличий во внутреннем строении, морфологии и физиологии. Однако их уникальность и так бросается в глаза, проявляясь во всем их поведении.



Восточные серые кенгуру идеально приспособлены к жизни на открытых пространствах. Прыжки на двух ногах – очень энергетически экономный способ передвижения, позволяющий кенгуру совершать суточные и сезонные миграции на большие расстояния

#### «ПРАВО» – СЕНО, «ЛЕВО» – СОЛОМА

Билатеральную симметрию, т. е. зеркальную симметричность двух сторон тела, традиционно относят к одной из наиболее общих характеристик позвоночных животных. Не менее давно известен и тот факт, что эта симметричность далеко не абсолютна: морфологические и функциональные асимметрии среди позвоночных скорее правило, чем исключение. За последние десятилетия был накоплен огромный материал, демонстрирующий, что неравноценное участие левого и правого полушария в реализации разнообразных задач широко распространено как среди позвоночных, так и беспозвоночных организмов (Vallortigara, Rogers, 2005; Vallortigara *et al.*, 2011).

Асимметрия мозга может проявляться как в сенсорных предпочтениях, когда один из парных органов чувств более эффективно воспринимает тот или иной стимул, так и в моторных (двигательных) предпочтениях (к примеру, в асимметричном использовании конечностей). Преимущественное использование одной из пары конечностей (руки, ноги, лапы, плавника, копыта и т. п.) при выполнении каких-либо действий – это то, что у человека называют право- и леворукостью, или просто рукостью (англ. *handedness*).

Зачастую действия конечностей специализированы: левая чаще используется при решении одних задач, а правая – других. При этом движения предпочитаемой конечности оказываются точнее и быстрее, обеспечивая максимальную эффективность действий (Fabre-Thorpe *et al.*, 1993; Magat, Brown, 2009). Более того, животные, проявляющие значимое предпочтение одной конечности, более успешно справляются с манипулятивными задачами по сравнению с «равнорукими» собратьями (McGrew, Marchant, 1999). Несмотря на все эти выгоды, асимметрия использования конечностей у разных животных выражена по-разному. Причины этого пока не ясны: так, одна из теорий связывает

выраженность моторной асимметрии с локомоторными характеристиками вида.

Например, предполагается, что на проявление моторных предпочтений амфибий влияет свойственный им тип передвижения, а именно – попеременное или синхронное переставление конечностей (Malashichev, 2006). У млекопитающих видовой склонностью к использованию левой или правой руки, предположительно, обусловлена различиями в образе жизни (древесный или наземный) и типе питания (ловля живой добычи, обработка твердых плодов растений и т. д.) (MacNeilage, 2007).

Данные по приматам, демонстрирующие значительное усиление моторной асимметрии у особей в бипедальном положении по сравнению с более типичным положением «на четырех ногах», породили гипотезу, что именно бипедализм может быть важным фактором становления ярко выраженного предпочтения использования одной из передних конечностей. Пример – столь характерная для человечества праворукость (Westergaard *et al.*, 1998). При этом механизмы, обуславливающие взаимосвязь между бипедальной локомоцией и рукостью, у приматов на настоящий момент не изучены, так же как и у других млекопитающих.

В течение пяти последних лет исследовательская группа биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета под руководством Е. Б. Малашичева занимается изучением предпочтений использования передних конечностей сумчатыми животными. Эволюция этой уникальной группы шла практически параллельно плацентарным млекопитающим, поэтому знания механизмов работы такого «альтернативного» мозга могут помочь сложить полную картину функционирования и эволюции нервной системы и поведения млекопитающих в целом.



Более того, разнообразие образа жизни и типов локомоции сумчатых позволяет детально исследовать факторы, определяющие проявление асимметрии. Так, оказалось, что рыже-серые валлаби, стоя на двух ногах, значительно чаще используют при кормежке левую лапу, тогда как в другой позе практически не проявляют своих предпочтений (Giljov *et al.*, 2012). Асимметрия проявляется у этих животных также при опоре на одну лапу (чаще правую) и даже при сосании молока в сумке матери.

Ярко выраженное предпочтение левой лапы при манипулировании едой и гнездовым материалом было обнаружено у крысиного кенгуру, а у домового опоссума и карликовой сумчатой летяги на моторные предпочтения влияет половая принадлежность животного (Гилёв и др., 2012).

Однако наиболее любопытные результаты были получены при сравнительном анализе «рукости» у шести видов сумчатых. Как известно, внутри обширного подотряда кенгуруобразных можно проследить все стадии перехода от квадрупедальной локомоции к бипедальной. Оказалось, что чем более характерно для вида принятие бипедального положения, тем выше внутривидовая индивидуальная и групповая асимметрия. Вкупе с данными по приматам эти результаты свидетельствуют, что поза и способ локомоции являются важным фактором в эволюции асимметрии мозга млекопитающих.

Для более полного понимания эволюции двигательной асимметрии у сумчатых требуется дальнейшее изучение кенгуру и их ближайших родственников, при этом желательнее в природных условиях, поскольку в неволе проявление моторных предпочтений может искажаться. Однако такие «живые» наблюдения в естественной среде обитания – большая редкость, а ведь только они позволяют оценить истинное значение асимметрии мозга в реальной жизни животного

Рыже-серые валлаби при кормежке часто пользуются одной передней конечностью. Чаще всего такое поведение проявляется при питании побегами деревьев и кустарников. Длительные наблюдения за одной и той же особью позволяют понять, «правша» она или «левша»

#### Индивидуальный подход

Обычный день нашей экспедиции: после раннего подъема мы еще затемно отправляемся на поиски животных, вооруженные биноклями и фото- и видеоаппаратурой. Хотя на заповедном о. Марайа кенгурины не столь боятся человека, как в других местах, все же нам приходилось прикладывать немало усилий, чтобы приблизиться к ним на достаточно близкое расстояние.

Большое значение для кенгуру имеет рост приближающегося человека: чем он ниже, тем ближе они его подпускают. Поэтому последнюю часть пути к объектам исследования мы проделывали в прямом смысле на карачках. Вот так кенгуру, сами бипедальные, превращали нас прямоходящих в четвероногих!

За время нашей экспедиции нам пришлось постичь немало и других тонкостей, которые нужно учесть при приближении к кенгуру. Но даже когда при успешном стечении обстоятельств нам наконец-то удавалось оказаться достаточно близко к кенгуру, это не означало, что можно было спокойно заниматься делом, т. е. фиксировать поведенческие акты с использованием передних конечностей. Ведь кенгуру – не приматы, они не пользуются своими передними лапами при любом удобном и неудобном случае, поэтому очень часто приходилось часами почти неподвижно сидеть в засаде и ждать.

Но зато когда этот долгожданный момент наступал, мы не упускали своего и сразу же начинали фото- и видеосъемку. Видео было нужно для того, чтобы

### СУМЧАТЫЙ РАЗБОЙНИК

В тасманийском буше живет дерзкий зверек, о поведении которого не пишут в путеводителях. Лисий кузу (или лисовидный поссум), помимо обаятельной внешности, имеет привычку забираться в палатки и переворачивать все вверх дном, выискивая что-нибудь съедобное или интересно пахнущее. Сочетая в себе ловкость мангуста и манипулятивные способности небольшой обезьяны, эти сумчатые могут открывать молнии и кнопки: им не составит труда полностью распотрошить 100-литровый походный рюкзак, чтобы добыть изюминку, случайно завалившуюся на дно.

При этом лисий кузу не испытывает ни малейшего страха перед человеком,



Лисий кузу – бесстрашный ночной воришка, доставляющий немало хлопот туристам и исследователям, ночующим под открытым небом

Рыже-серый валлаби использует весь свой рост, чтобы добраться до вкусных молодых побегов

а после досмотра личных вещей их как следует метит, чтобы вернуться ночью и провести повторный досмотр. В результате чего наше походное имущество немало пострадало, пропитавшись неистребимым ароматом. К счастью, месячный запас провианта был спасен благодаря коробкам из толстого пластика с тремя замками на крышке, в которых и хранилась еда. Но, несмотря на все эти неприятности, сердиться на этих ночных воришек было невозможно: ведь Тасмания – это их исконная обитель, а мы были здесь лишь непрошеными и неожиданными гостями



Этот кенгуренок, еще ни разу не покидавший сумку матери, изучает окружающий мир, выглядывая из своего безопасного убежища. Детеныш может пробовать траву, обнюхиваться с матерью и другими членами моба и ощупывать поверхность земли, не покидая материнской сумки

иметь возможность во всех деталях проанализировать собранные данные по возвращении домой; а фотографии высокого разрешения позволяли распознавать среди кенгуру отдельных индивидуумов, данные по которым собирались в разные дни наблюдений. Именно эти фотопортреты позволили нам в будущем оценить склонности отдельных особей к использованию той или другой передней лапы.

Как кенгуру, так и валлаби – ночные и сумеречные животные, потому наблюдения за ними следовало вести и в темное время суток. Вооружившись инфракрасным фонарем (такой свет практически не привлекает внимания животных в отличие от света обычного фонаря) и видеокамерой с режимом, позволяющим снимать в инфракрасном свете, мы выходили на поиски животных после заката, к которым благодаря темноте мы могли приближаться на более близкое расстояние.

Чтобы обнаружить кенгуру на просторах острова, мы пользовались обычными фонарями, на которые наде-



Валлаби (2012, № 5/47)

вали красные фильтры: красный свет не так резок для глаз животных и не вынуждает их покидать освещенные участки. Такие фильтры часто используют на Тасмании как исследователи, так и туристы, чтобы максимально снизить «фактор беспокойства» и не повредить чувствительные глаза ночных животных.

### Лицом к лицу

Когда время нашего пребывания на Марайе истекло, мы отправились к следующему пункту экспедиции – парку дикой природы Боноронг. Этот парк находится уже на самой Тасмании, в нескольких часах езды от столичного Хобарта. Боноронг весьма популярен у туристов, доход от которых идет на спасение диких животных Тасмании, пострадавших по вине человека, в первую очередь от автомобилей.

Благодаря сумчатости большинства австралийских диких зверей у подобных организаций всегда много работы, ведь очень часто в сумке самки, сбитой автомобилем, находится невредимый и беспомощный детеныш. Сеть волонтеров из рядовых граждан помогла сделать систему помощи таким пострадавшим животным удивительно эффективной, и свыше 90 %

животных, спасенных работниками Боноронга, после реабилитации возвращаются в дикую природу.

В этом парке дикой природы кенгуру живут в полувольном содержании, только периодически получая подкормку от человека. Поэтому восточные серые кенгуру, а именно они населяют огромные вольеры этого парка, сохранили социальную структуру и поведение, которые мало отличаются от своих диких собратьев. Размеры вольера даже позволяют кенгуру совершать суточные миграции, удивительно похожие на те, что характерны для диких кенгуру о. Марайа.

В Боноронге исследователь может сидеть в десятках сантиметров от кенгуру, и тот ни на секунду не обратит на него внимания. Такие уникальные условия позволили наблюдать за интимными сторонами жизни кенгуру. Например, удалось «подсмотреть», как пользуется своими конечностями кенгуренок, который еще ни разу не покидал сумки матери.

«Физиономии» всех кенгуру имеют свои уникальные черты, по которым наметанный глаз может не только различить отдельных особей, но даже определить их пол и примерный возраст



Очень интересно и познавательно было наблюдать и за драками между самцами кенгуру: такие агрессивные взаимодействия часто называют боксом, однако на деле это скорее напоминает борьбу. При этом самцы-конкуренты за благосклонность самок, прижимая соперника к себе, пытаются ухватиться сильными когтями за самые чувствительные области головы – нос, глаза и уши, и награждают друг друга мощными пинками в брюхо.

На входе в вольеры с кенгуру в Боноронге висит табличка «Kangaroo country», что в переводе означает «страна кенгуру». Прощаясь с сотрудниками парка, мы полусерьезно-полуплутя спросили, не дадут ли они нам гражданство своей маленькой «страны» – так очаровало нас общество этих удивительных «других» двуногих.

Наряду с кенгуру и эму смеющийся кукабарра стал одним из любимых национальных символов современной Австралии. Эта крупная и необычная разновидность зимородка прославилась своими криками, так похожими на смех или хохот человека



Кенгуру может вырабатывать четыре вида молока, в зависимости от возраста кенгуренка. Мать кормит детеныша до годовалого возраста: часто можно видеть, как уже подросшие кенгурята оттягивают край сумки матери передними лапами, чтобы добраться до заветного молока

Эта поездка подарила нам как зоологам не только уникальный опыт, но и новые данные об асимметрии мозга и ее влиянии на жизнь животных в природе. И, конечно, как все путешественники и туристы, мы привезли с собой незабываемые впечатления о природе и людях с обратной стороны Земли, где все так, как у нас, и все же совсем по-другому.

#### Литература

Гилёв А.Н. и др. Асимметричное использование передних конечностей у домового опоссума, *Monodelphis domestica* // *Научные исследования в зоологических парках*, вып. 28. М.: Московский зоопарк, 2012. С. 59–72.

Giljov A., Karenina K. & Malashichev Y. 2012 *Limb preferences in a marsupial, Macropus rufogriseus: evidence for postural effect*// *Anim. Behav.* 2012. V. 83. P. 525–534.

Malashichev Y.B. *One-sided limb preference is linked to alternating-limb locomotion in anuran amphibians*// *J. Comp. Psychol.* 2006. V. 120. P. 401–410.



А. В. ГУРОВ

# ЧЕРНЫЙ КОРШУН, ЧТО ТЫ ВЪЕШЬСЯ?..



ГУРОВ Андрей Вячеславович – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории техногенных лесных экосистем Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Красноярск)  
Автор и соавтор 76 научных работ

**Ключевые слова:** черный коршун, птицы-падальщики, синантропность, поведение в городской среде.

**Key words:** black kite, vultures in general, synanthropy, behavior under the human settlement conditions

Остров Посадный на р. Енисей (Красноярск). Фото. Д. Ефимова

© А. В. Гуров, 2012

*Черный коршун (Milvus korschun Gmel.) относится к семейству ястребиных (Accipitridae), отряду дневных хищных птиц (Accipitres или Falconiformes). От многих других ястребиных его отличает хорошо заметная «вырезка» на хвосте, которой настоящие ястребы похвастаться не могут. И вообще, он даже не черный, а скорее, коричневато-бурый сверху и рыжеватый снизу*

«Черный ворон, черный ворон, что ты вьешься надо мной?» Вообще-то вороны не вьются, как, впрочем, и коршуны – просто в песне так сложилось. Это мошкара вьется, да и то не каждая. А коршуны в поиске красиво кружат, планируя и описывая широкие круги. Они почти постоянно в поиске, как и многие другие «собратья по перу», крупные хищные птицы.

Надо сказать, среди хищников немало тех, кто в природе охотно кормится падалью. Это и понятно: выслеживание и поимка живой добычи нередко требуют значительных энергетических затрат, а с падалью проще – время и силы уходят исключительно на поиск.



Черный коршун  
во всей красе

И это только кажется, что падаль можно отыскать где угодно: как и всякая полезная вещь, она на дороге не валяется. Найти ее можно далеко не всегда и не везде. И чаще, например, не в чистом поле, а вдоль автомобильных дорог, что вполне объяснимо. Или по берегам рек и других водоемов, где попадают мертвые земноводные и снулая рыба. Тут главное – найти, а на поимку силы уже не тратятся. А если парят высоко и накручивают круги, значит, все еще не нашли...

Сравнительно слабые лапы с короткими пальцами не делают черного коршуна удачливым охотником за активной, здоровой добычей, хотя птенцов он, по возможности, и уносит в качестве добычи. Однако в норме предпочитает питаться всякой мелочью, снулой рыбой, падалью и даже отбросами (Сыроечковский, Рогачева, 1980).

Кстати, отбросы отбросам рознь. Есть совсем несъедобные, есть невкусные, есть очень даже ничего, а бывают и совершенно непонятные. Например, «отбросы человеческого общества». Человек вообще мастер по изобретению самых различных отбросов и чемпион по объему их производства. Изобретательность человека в данном плане поистине велика, что иллюстрируется, например, уникальным по широте охватом использованием слова «бросать». Начиная с самого простого варианта этого глагола, а затем лишь чуть-чуть усложняя его форму, человек позволяет себе бросать в тайге и тундре отслужившую технику, забрасывать пашни и деревни,

сбрасывать в реки загрязняющие вещества и подбрасывать соседям радиоактивные отходы. Параллельно он умудряется выбрасывать из головы «ненужные мысли», а на улицу – домашних питомцев и даже себе подобных. При этом человек постоянно пытается отбросить от себя обвинения в ошибочности своих действий, а самое главное – в бездумном расточительстве, указывая на то, что он же ничего не вбрасывает зря, как мяч в плохую игру, а бережет для будущих поколений. В целом, отбросов много, всем хватит.

Что касается черного коршуна, то при всем изобилии форм антропогенного «бросания» его занимают, конечно же, доступность и объем пищевых отходов, столь характерных для мест скопления людей. Неудивительно, что уже в специальной литературе середины прошлого века указывалось, что в Африке и Южной Азии эта птица часто держится в поселениях человека (Дементьев, 1970). А в традиционной русской литературе черный коршун, будучи постоянным посетителем сел и деревень, издавна и неизменно фигурирует в качестве грозы цыплят и насекомых, прозываясь даже «цыплятником».

Падальщики, в общем-то, те же санитары и мусорщики. Через эту свою «биосоциальную» роль они нередко ведут себя как синантропы, то есть сожители или спутники человека, который явно нуждается в подобных услугах. Достаточно вспомнить про ворон и сорок, чьи гнезда в наше время весьма проблематично отыскать на удалении от человеческого жилья с его отбросами. И такие связи усиливаются и усложняются, принимая порой самые причудливые формы.

В праздники, как известно, народ более рассеян и щедр, а потому неаккуратен и расточителен. А свадьба, например, это такой праздник, такой!... Может быть, единственно настоящий за всю жизнь. И его хочется устроить именно во дворце. И чтобы все было как у людей: и невеста вся в белом, и гости с цветами, и шампанское с фуршетом, и фото во всех возможных местах и позах, иногда даже с выпуском ручных белоснежных голубей...

И есть такая возможность, есть! Центральный Дворец бракосочетаний в г. Красноярске выходит фасадом на красивую набережную Енисея. Сверху открывается захватывающий вид: могучая река, острова, лесистые горы за рекой, зеленая набережная простирается террасами до самой воды и вдобавок смотровая площадка с белоснежной колоннадой неподалеку. Скорее туда, с террасы на террасу, от одной запланированной там-дой и фотографом площадки до другой.

Остановка: позы – просто молодожены, они со свидетелями, молодые со всеми, потом короткая речь, пробки и аплодисменты под нехитрую или хитрую закуску. И все впопыхах, ибо время действительно дорого, а настоящий праздничный стол уж точно не за горами

на той стороне. И если что-то вдруг упало, «уронилось» под ноги на зеленый газон, особенно из закуски, то это не беда: срабатывают праздничные рассеянность и щедрость от избытка...

А напротив, за протокой, – остров со старинным названием Посадный, с рощей из старых высоких тополей. Этот островок в центре города и сам по себе интересен, но замечательнее всего гнездящаяся на нем мудрая пара черных коршунов. Мудрая, поскольку начала осваивать практику собирания объедков с барского праздничного стола.

То, что праздники бракосочетания приурочены, как правило, к пятницам и субботам, птицам, конечно, невдомек. Зато наличие экстраординарного людского муравейника, в круговерти которого то и дело мелькают «женщины в белом», является для них «приглашением к столу». Каждые полчаса парадные двери дворца с четкостью хорошо отлаженного механизма выплывают на набережную очередную праздничную, рассеянную и расточительную группу друзей и родственников, вьющихся вокруг молодоженов.

И каждые полчаса потенциальные запасы любителей объедков пополняются и обновляются. Праздник закончится, пернатые санитары, четвероногие и двуногие мусорщики похозяйничают и приберутся на газонах, а коршуны улетят ночевать на свой остров. До следующей пятницы они будут патрулировать другие участки

и лишь изредка, словно бы на всякий случай, навещать свой пустующий до времени банкетный зал.

...А пока праздник в разгаре, гуляющие смотрят по сторонам, критически оценивая красоту невест, мужественность женихов и пышность кортежей. Нет чтобы поднять глаза к небу, чтобы увидеть незамысловатый воздушный танец и критически оценить предприимчивость пернатых гостей праздника.

Правда, если такое и произойдет, то, скорее всего, закончится вопросом типа: «Черный коршун, что ты выешься над моею головой?..» Разумеется, спрашивающему невдомек, что коршуны, даже самые мудрые, не вьются. Они просто красиво кружат, планируя и описывая в воздухе широкие круги.

#### Литература

Бахтин Р.Ф. и др. Экология синантропной популяции черного коршуна в окрестностях Бийска, Алтайский край, Россия // *Пернатые хищники и их охрана*. 2010. № 20. С. 68–83.

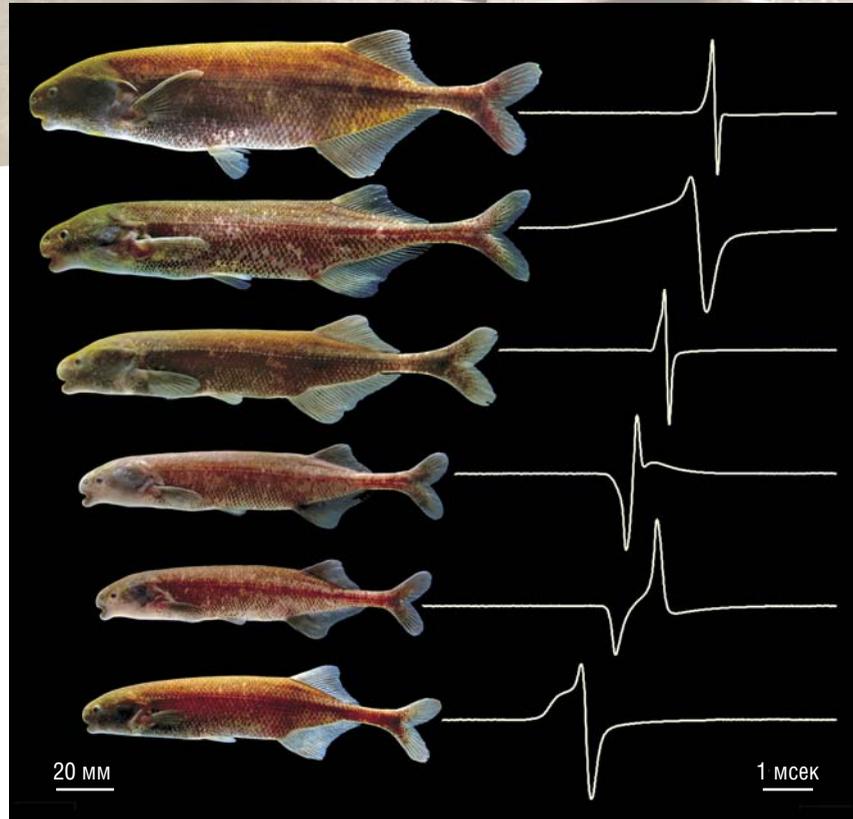
Дементьев Г.П. Отряд дневные хищные птицы (Accipitres, или Falconiformes) // *Жизнь животных. В 6-ти томах. Т. 5. Птицы*. М.: Просвещение, 1970. С. 158–197.

Сыроечковский Е.Е., Рогачева Э.В. *Животный мир Красноярского края*. Красноярск: Красноярское книжное издательство, 1980. 359 с.

Группа черных коршунов на берегу. Верхний Енисей.  
Фото Д. Ефимова



# МИР ГЛАЗАМИ НАУКИ



# Шестое чувство – электрическое

**К**огда естественный отбор работает в одном и том же направлении, а необходимые генетические «кирпичики» имеются в наличии, то в разных систематических группах могут произойти эволюционные события, повторяющие друг друга с удивительной точностью. Один из наиболее показательных примеров в этом отношении – так называемые слабоэлектрические рыбы, относящиеся к двум семействам: африканскому Mormyroidea и южноамериканскому Gymnotiformes.

Эти удивительные создания практически неизвестны широкой общественности, однако именно их исследования в течение последних десятилетий стали основой не одного прорыва в области нейробиологии. А не так давно слабоэлектрическими рыбами заинтересовались и специалисты в области эволюционной биологии, которые стараются понять, каким образом и за какое время формируются сложные признаки, чтобы пролить свет на эволюцию нервной системы, в том числе взаимодействие между новшествами в коммуникации и разнообразием видов.

Слабоэлектрические рыбы мормирусы и гимноты обитают в мутных пресноводных водоемах влажной тропической зоны, где ведут ночной образ жизни. Скелетные мышцы хвостовой части их тел формируют сложный электрический орган, который генерирует сигналы разного вида и формы, а на голове имеются электрические рецепторы, некоторые из которых можно увидеть невооруженным глазом. Часть этих рецепторов регистрирует и расшифровывает изменения собственного электрического поля: это



Слева вверху – М. Арнегард в каное на р. Окано (Африка).  
Фото Д. Т. Рейда

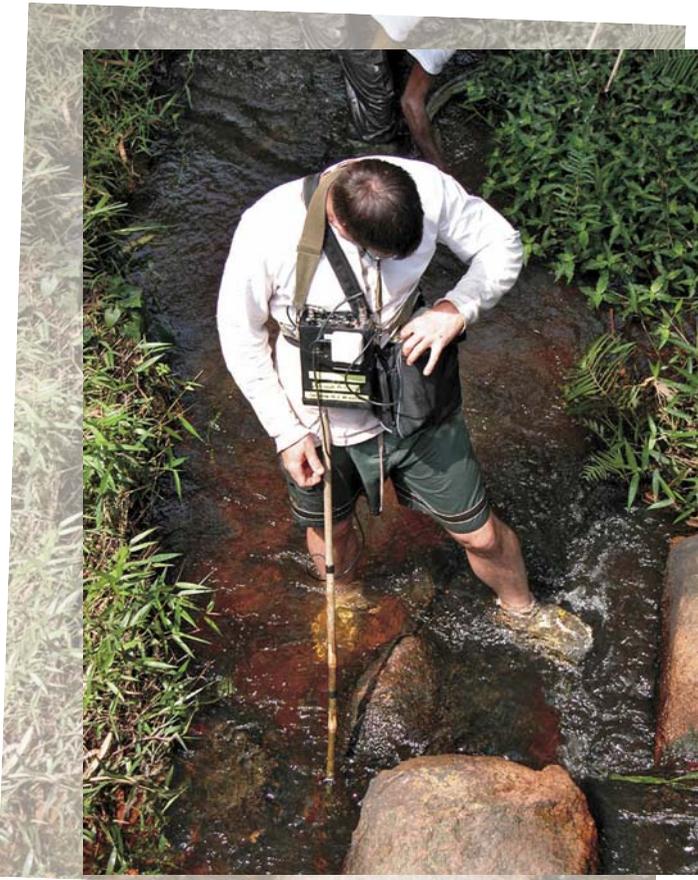
Слева – осциллограммы электрических импульсов шести близкородственных видов мормирусов, обитающих в р. Окано (Африка). По горизонтали время, по вертикали вольтаж. Форма импульса у каждой рыбы своя. По ней рыбы выбирают себе партнера для спаривания. Отметим краткую продолжительность импульсов – от одной до трех миллисекунд. Этот коллаж М. Арнегарда получил третье место на Национальном конкурсе США БиоАрт (спонсор – Федерация американских обществ по экспериментальной биологии, FASEB). Публикуется с разрешения FASEB



*Malapterurus oguensis*, один из нескольких близкородственных видов электрических сомов, обитающий в Африке. Фото М. Арнегарда

© М. Арнегард, Д. Цвикл, Й. Лу, Х. Закон, 2012

Кроме слабоэлектрических рыб мормирусов и гимнот, среди рыб есть и другие виды, сформировавшие электрические органы из скелетных мышц, – электрические скаты рода *Torpedo*, звездочеты и электрические сомы. С помощью этих органов, дающих более сильные разряды, рыбы оглушают свою добычу



В небольших речушках исследователи отслеживают особей мормирусов нужного вида и пола с помощью электрода, усилителя и осциллографа.  
Фото П. Макинтайра

своего рода комбинированное чувство, сочетание слуха и дистанционного осязания, позволяет рыбам «видеть» свой путь в темноте.

Посылая и принимая электрические послания, мормирусы и гимноты могут демонстрировать агрессию и готовность к спариванию. Они являются своеобразной «визитной карточкой», позволяя электрическим рыбам без ошибки узнавать особей того же вида, тем самым уменьшая вероятность спаривания с чужаками.

Ряд морфофизиологических особенностей слабоэлектрических рыб делают этих животных особо ценной моделью для нейробиологических исследований. В частности, их электрические органы богаты ключевыми нейротрансмиттерными рецепторами и ионными каналами, необходимыми для работы мышц и нервной системы. Более того, биоэлектричество играет в жизни этих животных двойную роль: это и «валюта» для обмена информацией внутри нервной системы, и энергия, с помощью которой рыбы воспринимают окружающую среду и посылают сообщения другим особям. Вышеперечисленное означает, что слабоэлек-

трическим рыбам не требуется никаких специальных форм преобразования энергии, поскольку внешние электрические импульсы непосредственно передаются в нервную систему.

Биологам, работающим с этими рыбами, пришлось подучить электротехнику. Интересно, что нервная цепь, которая позволяет электрическим рыбам избежать электрических «пробок» при взаимодействии с соседями, оказалась первой поведенческой нервной цепью позвоночных, которая была проработана в полном объеме – от ввода информации, ее централизованной обработки и заканчивая двигательной реакцией на выходе. Работа с электрическими рыбами позволила пролить свет и на целый ряд общих нейробиологических функций, в том числе адаптивную обработку *реально* поступающей информации на основе *ожидаемой*, точную временную оценку быстро меняющихся сигналов и гормональную модуляцию нервных контуров.



Торговка съестным из племени Бабонго продает маленького крокодильчика у дороги, проходящей через влажный тропический лес в северо-восточном Габоне. Жители в лесных дебрях Африки высоко ценят электрических рыб как обильную и вкусную пищу. Фото М. Арнегарда



Несмотря на независимую эволюцию, электрические органы мормирусов и гимнот – производные мышечной ткани, демонстрируют удивительную схожесть, так же как их электросенсорные системы и общий вид в целом. По: (Lavoué et al. 2012)

Весь этот клад знаний о работе нервной системы электрических рыб и их систематическое разнообразие сделали эти создания превосходной моделью для эволюционных исследований. Недавно на основании анализа последовательностей ДНК с использованием метода молекулярных часов было высказано предположение (Lavoué et al. 2012), что в каждой из групп слабоэлектрических рыб на преобразование сократительных мышц в полноценный функциональный электрический орган ушло примерно 15–25 млн лет. Оказалось, что в этом эволюционном процессе у обеих групп принял участие один и тот же ген – результат дупликации (удвоения) одного из генов, ответственных за работу натриевого канала. Ген-дубль образовался примерно за 100 млн лет до того, как окончательно выделились эти две систематические группы слабоэлектрических рыб (Arnegard et al., 2010).

Таким образом, благодаря всего лишь одной дупликации гена эволюционное новообразование было продублировано в совершенно разных, неродственных группах организмов. Более того, оказалось, что аминокислотные замены в результате позитивного отбора по этому гену у электрических рыб затронули те же сайты, где происходят нежелательные замены, приводящие к развитию сердечных или неврологических заболеваний у человека.

Недавно африканские мормирусы стали объектом изучения еще одной группы биологов-нейроэволюционистов, которые пытаются выяснить, как нововведения в коммуникации могут влиять на скорость видообразования (Carlson et al., 2011).

Оказалось, что способность генерировать электрические сигналы новых типов в сочетании с новой возмож-

ностью среднего мозга распознавать тонкие изменения сигнала позволила мормирусам существенно обогатить обмен информацией. В свою очередь, эта инновация в сфере электросенсорной коммуникации запустила каскадное образование новых видов, демонстрируя тем самым важную роль общения между особями в увеличении биоразнообразия.

Последние достижения в области генетических и геномных технологий, которые нейробиологи применяют и будут применять при исследовании слабоэлектрических рыб, помогут получить новые знания о механизмах эволюции мозга, происхождении новых систем коммуникации и их влиянии на увеличение разнообразия жизни на нашей планете.

М. Арнегард (Центр исследования рака Фреда Хатчинсона, Сиэтл, США), Д. Цвикл (Аризонский университет, США), Й. Лу и Х. Закон (Техасский университет, Остин, США)

Лумепатупа

Arnegard M.E. et al. Old gene duplication facilitates origin and diversification of an innovative communication system—twice // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2010. V. 107. P. 22172–22177.

Carlson B.A. et al. Brain evolution triggers increased diversification of electric fishes // Science. 2011. V. 332. P. 583–586.

Lavoué S. et al. Comparable ages for the independent origins of electrogenesis in African and South American weakly electric fishes // PLoS ONE 7. 2012. e36287.



## Наноконструктор: сделай сам

Эти необычные архитектурные конструкции созданы из миллионов углеродных нанотрубок. Размер многих фигур превышает десятки мкм, в то время как диаметр одной нанотрубки составляет лишь около 10 нм, что более чем в 1000 раз тоньше человеческого волоса. Сами нанотрубки были синтезированы на кремниевой плите с использованием газофазного химического процесса при температуре свыше 700 °С. Придать этим наноматериалам форму сложных геометрических фигур удалось, используя процесс капиллярной самосборки: капиллярные силы, связывая углеродные нанотрубки, реорганизуют их совокупность в трехмерную упаковку высокой плотности.

Тщательно контролируя процесс самосборки, можно создавать небольшие структуры сложной геометрической формы: конусы, решетки, спирали, изогнутые балки и т.д. На основе этих элементов, повторяя этапы синтеза нанотрубок и шаги капиллярной самосборки, можно создавать еще более сложные конструкции. Например, микропружины, которые могут стать основой новых уникальных метаматериалов.

Эта технология привлекательна тем, что микроструктуры на основе нанотрубок можно производить с высокой скоростью и при сравнительно низких затратах. При этом получаемые конструкции наследуют такие важные свойства исходного наноматериала, как высокие электро- и теплопроводность и химическая устойчивость.

*М. Де Вольдер (Межуниверситетский центр микроэлектроники и Католический университет Лувена, Бельгия), С. Тофик, А.Д. Харт (Мичиганский университет, США)*

*Литература  
De Volder M.F.L. et al. Corrugated Carbon Nanotube Microstructures with Geometrically Tunable Compliance // ACS Nano. 2011. № 5 (9). P. 7310–7317.*

Методом капиллярной самосборки из углеродных нанотрубок можно получить разнообразные микроконструкции. Сканирующая электронная микроскопия. Фото публикуется с разрешения авторов и Общества по изучению свойств материалов (США) – организатора конкурса «Наука как искусство». Image Courtesy of the Materials Research Society Science-as-Art Competition and M. De Volder (imec and KULeuven, Belgium), S. Tawfick and A.J. Hart (University of Michigan)

© М. Де Вольдер, С. Тофик, А.Д. Харт, 2012

**СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ**  
ТЕМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКТЫ ЖУРНАЛА «НАУКА из первых рук» за 2004—2011 гг.  
**ПО ЛЬГОТНОЙ ЦЕНЕ**



**№1**

**Комплект № 1 «Эволюция»**

Серия публикаций, посвященных вопросам происхождения и эволюции жизни на Земле. Одни из самых загадочных и волнующих проблем – глазами крупных ученых, специалистов в самых разных областях знаний

Комплект № 1 состоит из восьми номеров: 2(5), 3(6) – 2005 г.; № 1(7) – 2006 г.; № 1(13), 2(14), 4(16) – 2007 г.; № 6(24) – 2008 г.; № 2(44) – 2012 г.

**ЦЕНА 650 руб.**



**№2**

**Комплект № 2 «Археология»**

Серия оригинальных публикаций, посвященных археологии Сибири: от собрания сибирских древностей Д. Г. Мессершмидта (1727 г.) и золотой «Сибирской коллекции Петра I» – до современных находок «замерзших могил» на плато Укок и древней стоянке Карама в Горном Алтае

Комплект № 2 состоит из девятнадцати номеров: 2(5) – 2005 г.; № 1(7), 2(8), 5(11), 6(12) – 2006 г.; № 1(13), 5(17) – 2007 г.; № 3(21) – 2008 г.; № 4(28), 5(29) – 2009 г.; № 3(33), 4(34), 5(35) – 2010 г.; № 1(37), 2(38) – 2011 г.; № 1(43), 2(44), 3(45), 4(46) – 2012 г.

**ЦЕНА 2130 руб.**



**№3**

**Комплект № 3 «История освоения Сибири: Великая Северная экспедиция»**

Серия уникальных публикаций, посвященных Второй Камчатской экспедиции (1733—1743 гг.), – одному из самых грандиозных научных мероприятий за всю историю полевых исследований в России. Кроме рассказов о легендарных участниках экспедиции: Г. Ф. Миллере, И. Г. Гмелине и Г. В. Стеллере, включает впервые опубликованные фрагменты из фундаментального рукописного труда Миллера «Описание сибирских народов».

Автор публикаций – крупнейший знаток и переводчик трудов Г. Ф. Миллера д. и. н. А. Х. Элерт

Комплект № 3 состоит из шести номеров: 2(5), 3(6) – 2005 г.; № 6(12) – 2006 г.; № 2(14) – 2007 г.; 2(32) – 2010 г.; № 2(44) – 2012 г.

**ЦЕНА 540 руб.**



**№4**

**Комплект № 4 «История науки»**

Серия публикаций, посвященных тому, как сибирские ученые, говоря словами Устава Академии 1803 г., «расширяли пределы знаний человеческих, совершенствовали науки, обогащали их новыми открытиями», «направляли, koliko возможно, познания ко благу общему...»

Комплект № 4 состоит из двадцати одного номера: № 2(5), 3(6) – 2005 г.; № 1(7), 2(8), 4(10), 5(11) – 2006 г.; № 2(14), 3(15) – 2007 г.; № 4(22), 5(23) – 2008 г.; № 1(25), 5(29) – 2009 г.; № 1(31), 2(32), 3(33), 4(34), 5(35) – 2010 г.; № 1(37), 2(38), 4(40), 5(41) – 2011 г.; № 3(45), 4(46) – 2012 г.

**ЦЕНА 2510 руб.**

**ПОРЯДОК ПРИОБРЕТЕНИЯ КОМПЛЕКТОВ СМ. НА СТР. 110**  
В заявке и в платежном документе следует указывать **номер комплекта и его ЦЕНУ**

**Комплект № 5 «Коренные народы Сибири»**

Серия публикаций, посвященных этнографическому и историческому описанию коренных народов Сибири. От фрагментов из так и не переведенной на русский язык книги участника Великой Северной экспедиции И. Г. Гмелина «Путешествие по Сибири» и труда «Описание народов Сибири» его соратника по экспедиции Г. Ф. Миллера – до публикаций результатов современного многолетнего проекта «Соседи. Лесные ненцы» по изучению и сохранению культуры небольшой этнографической группы Ямало-Ненецкого автономного округа

Комплект № 5 состоит из одиннадцати номеров: № 2(5), 3(6) – 2005 г.; № 1(7), 2(8), 4(10) – 2006 г.; № 6(24) – 2008 г.; № 1(25), 5(29) – 2009 г.; № 3(33), 5(35) – 2010 г.; № 3(39) – 2011 г.

**ЦЕНА 1050 руб.**



**№5**

**Комплект № 6 «Человек»**

Серия публикаций, посвященных человеку: существу биологическому и общественному. С одной стороны – вершине эволюции, венцу творения, ради которого миллиарды лет трудилась природа, с другой – существу, которое подвержено болезням, предрассудкам и страхам. Точка зрения на человека медиков, биологов, археологов, историков, социологов и... прочих людей

Комплект № 6 состоит из двадцати номеров: № 2(8), 3(9), 4(10), 5(11), 6(12) – 2006 г.; № 3(15), 4(16), 5(17) – 2007 г.; № 1(19), 2(20), 6(24) – 2008 г.; № 1(25), 3(27), 5(29) – 2009 г.; № 2(32) – 2010 г.; 2(38), 4(40), 6(42) – 2011 г. № 2(44), 4(46) – 2012 г.

**ЦЕНА 2110 руб.**



**№6**

**Комплект № 7 «Реактивные самолеты»**

Серия публикаций, посвященных прошлому, настоящему и будущему реактивных самолетов и проблемам, которые приходится решать ученым при их проектировании

Комплект № 7 состоит из семи номеров: № 2(5), 3(6) – 2005 г.; № 6(12) – 2006 г.; № 2(14), 3(15) – 2007 г.; № 3(27) – 2009 г.; № 1(37) – 2011 г.

**ЦЕНА 600 руб.**



**№7**

**ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ!** ВЫ МОЖЕТЕ ПРИОБРЕСТИ КОМПЛЕКТЫ И ОТДЕЛЬНЫЕ НОМЕРА ЖУРНАЛА «НАУКА из первых рук» за 2004—2012 гг.

**2012**

№ 1 (43) 	№ 2 (44) 	№ 3 (45) 	№ 4 (46) 	№ 5 (47) 
НАРИСУЕМ – БУДЕМ ЖИТЬ	Рецепты СОТВОРЕНИЯ МИРА	В поисках НАЧАЛА ВСЕХ НАЧАЛ	НЕДАРОМ ПОМНИТ ВСЯ РОССИЯ	Сколько сценариев у ВСЕЛЕННОЙ?

**Льготная цена комплекта из 5 номеров за 2011 г. — 750 рублей**  
Цена одного номера без скидки – 160 рублей

**2011**

№ 1 (37) 	№ 2 (38) 	№ 3 (39) 	№ 4 (40) 	№ 5 (41) 	№ 6 (42) 
КОСМИЧЕСКИЙ УРОК РУССКОГО	БЕЗ СТРАХА И УПРЕКА	СОКРОВИЩА СУТЬ НЕ ДЕНЬГИ, а ДОБРЫЕ ДЕЛА	М. В. ЛОМОНОСОВ: «К приумножению пользы и славы Отечества»	Дмитрий Менделеев: «Широко простирал химия руки свои в дела человеческие»	СЕМЬ ВЕКОВ РОССИЙСКОЙ ИСТОРИИ

**Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2011 г. — 900 рублей**  
Цена одного номера без скидки – 160 рублей

**2010**

№ 1 (31) 	№ 2 (32) 	№ 3 (33) 	№ 4 (34) 	№ 5 (35) 	№ 6 (36) 
НАУКА МОЛОДАЯ	АКАДЕМИЯ ОБЩЕСТВУ	«МЫ ВЫПИЛИ СОМУ, мы стали бессмертными...»	ЧАРЛЗ ДАРВИН – великий популяризатор эволюционной идеи	ИЗУЧАТЬ НЕ РАЗРУШАЯ	ГЕОМОТОР – ДВИГАТЕЛЬ КАТАСТРОФ

**Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2010 г. — 800 рублей**  
Цена одного номера без скидки – 150 рублей

**2009**

№ 1 (25) 	№ 2 (26) 	№ 3 (27) 	№ 4 (28) 	№ 5 (29) 	№ 6 (30) 
ТЕМНЫЕ ИГРЫ ВСЕЛЕННОЙ	ПУТЬ НА ВОСТОК	ЯДЕРНАЯ ТОПКА ЗЕМЛИ	ВИВАТ УНИВЕР!	ВИРУС ГРИППА	МИР ГЛАЗАМИ НАУКИ

**Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2009 г. — 700 рублей**  
Цена одного номера без скидки – 130 рублей

**Льготная цена коллекции журналов из 43 номеров – 4 690 рублей**

! В стоимость покупки не входят расходы на доставку журналов

**ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ!** ВЫ МОЖЕТЕ ПРИОБРЕСТИ КОМПЛЕКТЫ И ОТДЕЛЬНЫЕ НОМЕРА ЖУРНАЛА «НАУКА из первых рук» за 2004—2012 гг.

**2008**

№ 1 (19) 	№ 2 (20) 	№ 3 (21) 	№ 4 (22) 	№ 5 (23) 	№ 6 (24) 
В тени ДИНОЗАВРОВ	ОПИСТОРХОЗ через ПРИЗМУ ГЕНОМА	КУЗНЕЧИК дорогой	Герои ПОСТЕНОМНОЙ ЭРЫ	НАНОтехнологии: вчера, сегодня, завтра	ЗВЕЗДНЫЕ ВРАТА

**Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2008 г. — 540 рублей**  
Цена одного номера без скидки – 100 рублей

**2007**

№ 1 (13) 	№ 2 (14) 	№ 3 (15) 	№ 4 (16) 	№ 5 (17) 	№ 6 (18) 
ЧИНГИС-ХАН: взгляд из третьего тысячелетия	ГАРМОНИЯ триединства	НЕФТЬ: герои не нашего времени	АЛМАЗНЫЙ ПУТЬ длиною в три миллиарда лет	В поисках энергии БОЛЬШОГО ВЗРЫВА	По следам академического отряда ВЕЛИКОЙ СЕВЕРНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

**Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2007 г. — 480 рублей**  
Цена одного номера без скидки – 90 рублей

**2006**

№ 1 (7) 	№ 2 (8) 	№ 3 (9) 	№ 4 (10) 	№ 5 (11) 	№ 6 (12) 
НАУКА как образ жизни	КЛАД тагарского жреца	ПТИЧИЙ ГРИПП. Новая глава в старой истории	ДИАТОМЕИ – строители стеклян- ных замков	ПЕРВЫЙ после Первой мировой	ЗАГАДКИ «ржавой» ДНК

**Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2006 г. — 420 рублей**  
Цена одного номера без скидки – 80 рублей

**2005**

№ 1 (4) 	№ 2 (5) 	№ 3 (6) 
ОТКРЫТИЕ СИБИРИ электронная версия	В поисках ЭНЕРГИИ	ПО СЛЕДАМ Великой Северной экспедиции

**Льготная цена комплекта из 2 номеров за 2005 г. — 100 руб.**  
Цена одного номера без скидки – 60 рублей

**2004**

№ 0 (1) 	№ 1 (2) 	№ 2 (3) 
Происхождение и ЭВОЛЮЦИЯ жизни на Земле электронная версия	Славное море, СВЯЩЕННЫЙ БАЙКАЛ электронная версия	ПРИРОДА – первый генный инженер электронная версия

Вы также можете заказать электронные версии отдельных статей (в формате pdf).

Более подробная информация на нашем сайте [www.sciencefirsthand.ru](http://www.sciencefirsthand.ru) или по телефону: 8 (383) 330-27-22

Оформить покупку отдельных номеров журнала вы можете в редакции и на сайтах:  
[www.sciencefirsthand.ru](http://www.sciencefirsthand.ru), [www.sibsciencenews.org](http://www.sibsciencenews.org)

## ГОДОВЫЕ И ТЕМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКТЫ

ЖУРНАЛА «НАУКА ИЗ ПЕРВЫХ РУК» (ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ)

можно приобрести наложенным платежом

через Почту России (только на территории РФ), заполнив заявку:

1. Прошу оформить покупку следующих комплектов/номеров журнала (выбрать нужное):

Годовые комплекты журналов по ЛЬГОТНОЙ цене:			на русском языке	на английском языке
2005 г.	2 номера	100 руб.	<input type="checkbox"/>	3 номера <input type="checkbox"/> 130 руб.
2006 г.	6 номеров	420 руб.	<input type="checkbox"/>	2 номера <input type="checkbox"/> 100 руб.
2007 г.	6 номеров	480 руб.	<input type="checkbox"/>	7 номеров <input type="checkbox"/> 490 руб.
2008 г.	6 номеров	540 руб.	<input type="checkbox"/>	6 номеров <input type="checkbox"/> 480 руб.
2009 г.	6 номеров	700 руб.	<input type="checkbox"/>	
2010 г.	6 номеров	800 руб.	<input type="checkbox"/>	
2011 г.	6 номеров	900 руб.	<input type="checkbox"/>	
2012 г.	5 номеров	750 руб.	<input type="checkbox"/>	
Коллекцию журналов по ЛЬГОТНОЙ цене: 43 номера			4 690 руб.	18 номеров <input type="checkbox"/> 1200 руб.

Тематические комплекты по ЛЬГОТНОЙ цене:

№ 1 «Эволюция и происхождение жизни»	8 номеров	650 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 2 «Археология»	19 номеров	2 130 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 3 «История освоения Сибири: Великая Северная Экспедиция»	6 номеров	540 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 4 «История науки»	23 номера	2 510 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 5 «Коренные народы Сибири»	11 номеров	1 050 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 6 «Человек»	20 номеров	2 110 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 7 «Реактивные самолеты»	7 номеров	600 руб.	<input type="checkbox"/>

Отдельные номера журнала:

на русском языке		цена одного номера, руб.	на русском языке		цена одного номера, руб.
2012 № 4 (46) <input type="checkbox"/>	№ 5 (47) <input type="checkbox"/>		№ 1 (7) <input type="checkbox"/>	№ 2 (8) <input type="checkbox"/>	№ 3 (9) <input type="checkbox"/>
№ 1 (43) <input type="checkbox"/>	№ 2 (44) <input type="checkbox"/>	160	№ 4 (10) <input type="checkbox"/>	№ 5 (11) <input type="checkbox"/>	№ 6 (12) <input type="checkbox"/>
2011 № 6 (42) <input type="checkbox"/>	№ 5 (41) <input type="checkbox"/>	160	2006		
№ 1 (37) <input type="checkbox"/>	№ 2 (38) <input type="checkbox"/>		№ 2 (5) <input type="checkbox"/>	№ 3 (6) <input type="checkbox"/>	60
2010 № 1 (31) <input type="checkbox"/>	№ 2 (32) <input type="checkbox"/>	150	на английском языке		цена одного номера, руб.
№ 4 (34) <input type="checkbox"/>	№ 5 (35) <input type="checkbox"/>		2007 № 1 (13) <input type="checkbox"/>	№ 2 (14) <input type="checkbox"/>	№ 3 (15) <input type="checkbox"/>
2009 № 1 (25) <input type="checkbox"/>	№ 2 (26) <input type="checkbox"/>	130	№ 4 (16) <input type="checkbox"/>	№ 5 (17) <input type="checkbox"/>	№ 6 (18) <input type="checkbox"/>
№ 4 (28) <input type="checkbox"/>	№ 5 (29) <input type="checkbox"/>		2006 № 1 (6) <input type="checkbox"/>	№ 2 (7) <input type="checkbox"/>	№ 3 (8) <input type="checkbox"/>
2008 № 1 (19) <input type="checkbox"/>	№ 2 (20) <input type="checkbox"/>	100	№ 4 (9) <input type="checkbox"/>	№ 5 (10) <input type="checkbox"/>	№ 6 (11) <input type="checkbox"/>
№ 4 (22) <input type="checkbox"/>	№ 5 (23) <input type="checkbox"/>		2005 № 1 (4) <input type="checkbox"/>	№ 2 (5) <input type="checkbox"/>	№ 7 (12) <input type="checkbox"/>
2007 № 1 (13) <input type="checkbox"/>	№ 2 (14) <input type="checkbox"/>	90	2004 № 0 (1) <input type="checkbox"/>	№ 1 (2) <input type="checkbox"/>	№ 2 (3) <input type="checkbox"/>
№ 4 (16) <input type="checkbox"/>	№ 5 (17) <input type="checkbox"/>	90			

2. Ф. И. О. \_\_\_\_\_

3. Почтовый адрес:  
Индекс \_\_\_\_\_ Город \_\_\_\_\_

Тел./факс \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

**Комплекты и отдельные номера журналов можно купить в редакции по адресу:**

г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 11, тел./факс: (383) 330-27-22, 330-26-67, e-mail: zakaz@infolio-press.ru

**Отдельные статьи в формате PDF можно заказать на сайте: [www.sciencefirsthand.ru](http://www.sciencefirsthand.ru)**

! В стоимость покупки не входят расходы на доставку журналов

При заказе ТРЕХ и более номеров журнала – СКИДКА 5 %

## ПОДПИСКА для ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ

Стоимость подписки на полугодие – 690 руб.  
Стоимость подписки на год – 1380 руб.

● Чтобы оформить подписку на 2013 г., **заполните заявку:**

● **Оплатите** стоимость подписки в любом отделении Сбербанка, заполнив прилагаемую ниже Форму № ПД-4 или почтовым переводом по платежным реквизитам, указанным на с. 112

● **Вышлите** заполненную заявку и копию квитанции о переводе денег по адресу: 630090, г. Новосибирск, а/я 96. Редакция журнала «НАУКА из первых рук» или **отправьте по факсу:** 8 (383) 330-26-67

1. Прошу оформить подписку на журнал «НАУКА из первых рук» на первое, второе полугодие, год (нужное подчеркнуть)  
Количество экземпляров \_\_\_\_\_

2. Ф. И. О. \_\_\_\_\_

3. Почтовый адрес:  
Индекс \_\_\_\_\_

Тел./факс \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

Копия квитанции об оплате от \_\_\_\_\_ (дата оплаты)  
прилагается

ИЗВЕЩЕНИЕ	Получатель платежа: ООО «ИНФОЛИО» ИНН 5408148073 Банк: ОАО «МДМ БАНК», г. Новосибирск, БИК 045004821 Счет получателя 40702810603120002214 К/с 30101810100000000821 Ф. И. О., адрес _____	Форма № ПД-4		
	Журнал «НАУКА из первых рук»	Цена	Кол-во	Сумма
Кассир	Всего			
ИЗВЕЩЕНИЕ	Получатель платежа: ООО «ИНФОЛИО» ИНН 5408148073 Банк: ОАО «МДМ БАНК», г. Новосибирск, БИК 045004821 Счет получателя 40702810603120002214 К/с 30101810100000000821 Ф. И. О., адрес _____	Форма № ПД-4		
	Журнал «НАУКА из первых рук»	Цена	Кол-во	Сумма
Кассир	Всего			

Вы также можете оформить подписку на сайте: [www.sciencefirsthand.ru](http://www.sciencefirsthand.ru)

В стоимость подписки включена доставка журналов заказной бандеролью

# ПОДПИСКА для ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

Стоимость подписки на полугодие – 1200 руб.  
Стоимость подписки на год – 2400 руб.



## Чтобы оформить подписку на 2013 г., заполните заявку:

1. Полное наименование организации \_\_\_\_\_
  2. Юридический адрес \_\_\_\_\_
  3. ИНН/КПП \_\_\_\_\_
  4. Тел./ факс \_\_\_\_\_
  5. E-mail \_\_\_\_\_
  6. Контактное лицо (Ф.И.О. полностью) \_\_\_\_\_
  7. Ваши реквизиты для получения изданий по почте \_\_\_\_\_  
Почтовый адрес (включая индекс) \_\_\_\_\_
  8. Получатель издания в организации (отдел, Ф.И.О.) \_\_\_\_\_
  9. Прошу выслать счет на подписку  
журнала «НАУКА из первых рук» на первое, второе полугодие, год (нужное подчеркнуть),  
количество экземпляров \_\_\_\_\_
- почтой  факсом  e-mail

## и вышлите ее по адресу:

**Редакция журнала  
«НАУКА из первых рук»  
630090, г. Новосибирск,  
а/я 96**

или отправьте по факсу:  
8 (383) 330-26-67

или по e-mail: [zakaz@infolio-press.ru](mailto:zakaz@infolio-press.ru)

Счет на оплату будет выслан  
в течение трех рабочих дней после  
получения заявки

### По всем вопросам обращаться:

Тел.: 8 (383) 330-27-22.

Факс: 8 (383) 330-26-67,

e-mail: [zakaz@infolio-press.ru](mailto:zakaz@infolio-press.ru)

Вы также можете оформить  
подписку на нашем сайте:  
[www.sciencefirsthand.ru](http://www.sciencefirsthand.ru)  
[www.sibsciencenews.org](http://www.sibsciencenews.org)

## Платежные реквизиты:

ООО «ИНФОЛИО»,  
ИНН 5408148073  
КПП 540801001  
Р/счет 407 02 810 603 120 002 214  
в ОАО «МДМ БАНК»,  
г. Новосибирск  
Кор/счет 30101810100000000821,  
БИК 045004821

## Подписка по каталогам:

Каталог агентства  
«Роспечать» (стр. 269):  
индекс **46495**  
Объединенный каталог  
«Пресса России» (стр. 387):  
индекс **42272; on-line: [www.prensa-rf.ru](http://www.prensa-rf.ru)**

## Подписка on-line

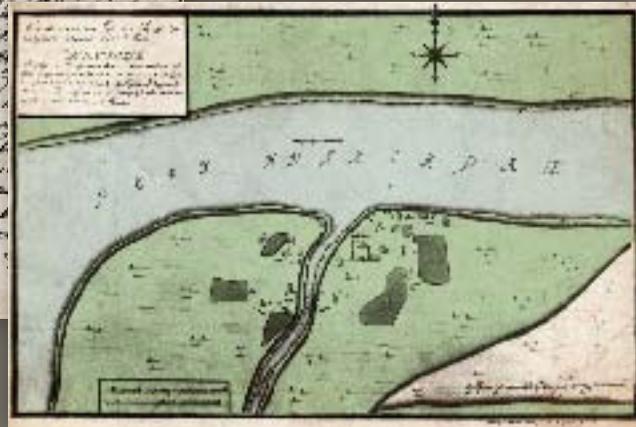
Агентство «Деловая пресса»: [www.delpress.ru](http://www.delpress.ru)  
Интернет магазин «PRESS cafe»:  
[www.presscafe.ru](http://www.presscafe.ru)  
Интер-Почта 2003: [www.interpochta.ru](http://www.interpochta.ru)  
МК-периодика: [www.periodicals.ru](http://www.periodicals.ru)  
Информнаука: [www.informnauka.com](http://www.informnauka.com)





Город Зашиверск.  
Рисунок Ф. Ф. Матюшкина  
из письма Е. М. Энгельгардту  
от 29 ноября 1820 г.

План г. Зашиверска,  
сочиненный в 1798 г.  
губернским землемером 9-го класса  
Турчаниновым



«...В тех суровых северных краях северо-восточной Якутии, где триста лет назад бурлила жизнь, по отрогам хребта Черского в студенческие годы мне доводилось ходить в далекие изнурительные многокилометровые маршруты на геологической съемке в Верхне-Инди-гирской геологоразведочной экспедиции.

Именно в этом диком краю, охваченном полукольцом скалистых гор, в обширной котловине, на могучей реке Индигирке, в XVII в. казачий атаман Постник Иванов по прозвищу Губарь с переселенцами основали небольшое Зашиверское зимовье. ...Мастеровые люди быстро возвели башни и стены острога, а в 1700 г., в тот самый год, когда Россия сменила старое летосчисление от сотворения мира на новое – от Рождества Христова, в Зашиверском зимовье взору предстала Спасская церковь...

Сейчас трудно даже представить, какую ценность имеет сегодня это дошедшее до нас сокровище древнерусского деревянного зодчества, которое на 14 лет старше 22-главой Преображенской церкви в Кижях, справедливо называемой восьмым чудом света! Это бесценное творение рук человеческих...

...Православие всегда было своеобразным знаменем первопроходцев, особенно при освоении отдаленных северных земель. В каждом новом поселении, будь то Верхоянск или Среднеколымск, не говоря уж об областном Ленском остроге (Якутске), русские служилые люди всегда ставили именно церковь – как указатель или залог того, что здесь будет город. Не временное пристанище пришлых временных людей, а основательное место жительства, что называется, всерьез и надолго».

Д. г.-м. н. А. В. Толстов  
(Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск)



Ледяной букет Байкала. Фото В. Короткоручко

ISSN 18-10-3960



9 771810 396003 47