

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

www.scfh.ru

2⁽⁵⁰⁾ ● 2013

ПЕЧАТАНЫ БЫЛИ
ПРИ АКАДЕМИИ
СЕКРЕТНО

ОТЗВУКИ
ЧЕЛЯБИНСКОГО
БОЛИДА

ИЗ ЛИЧНОГО
ДЕЛА
ОПИСТОРХОВ

С ТОЧКИ
ЗРЕНИЯ
НАСЕКОМОГО

«Но чтоб сие здание [АКАДЕМИЯ] непременно и полезно было, то имеет оно само себя править»





Символическое изображение передачи Петром I наук России. Гравюра Фр. Оттенса на фронтисписе книги «Mémoire du Regne de Pierre le Grand, empereur de Russie» (Amsterdam, 1728). *Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)*

на стр. 6

«Основанная заботами Петра Великого, состоящая из самых редких и знаменитых людей его империи и остальной Европы, Петербургская Академия поднята с самого рождения на высокую ступень знания, до которой Парижская и Лондонская Академии дошли лишь после шестидесяти лет прилежной работы: ее успехи были достойны ее основателя».

Из письма французского физика и математика Жан-Жак Дорту де Мерана Президенту Петербургской Академии наук И. А. фон Корфу 12 января 1736 г.

СПФ АРАН. Ф. 1. Оп. 3. Д. 21. Л. 6—7

На первой странице обложки:

Фрагмент гравюры Фр. Оттенса «Символическое изображение передачи Петром I наук России»

Из Проекта положения об учреждении Академии наук и художеств. 1724 г., утвержденного Петром I: «Но чтоб сие здание [Академия] непременно и полезно было, то имеет оно <...> само себя править»

2. 2013
научно-популярный журнал



НАУКА

из первых рук



В НОМЕРЕ:

Счетные выписки Московской книжной лавки Петербургской Академии наук помогли распутать клубок интриги, отразившейся на важных вопросах политической жизни России середины XVIII в.

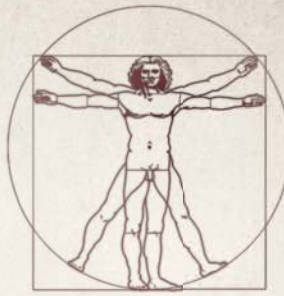
Из семи тысяч астероидов, сближающихся с Землей, 900 небесных тел с размерами более 1 км представляют потенциальную угрозу для нашей планеты

В отличие от привычных антибиотиков, препараты на основе фагов – вирусов, поражающих бактерии, не приводят к возникновению лекарственной устойчивости патогенов

На основе комплексного молекулярно-генетического исследования возбудителей описторхоза создан высокоспецифичный и чувствительный метод ДНК-диагностики паразитов

Новосибирская IT-компания в рамках государственного проекта участвует в разработке первого отечественного ядра трехмерного геометрического моделирования – фундамента всех современных систем автоматизированного проектирования

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. 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 22.07.2013

Свободная цена

Перепечатка материалов только
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2013
© ООО «ИНФОЛИО», 2013

Над номером работали

К. Андрюнина
Л. Беляева
И. Гайнутдинов
А. Владимирова
к. фил. н. Н. Копанева
к. б. н. Л. Овчинникова
Л. Панфилова
к. б. н. М. Перепечева
Е. Сычева
А. Харкевич

Дорогие друзья!

Очередной выпуск нашего журнала можно назвать юбилейным: в 50-й раз мы обращаемся к вам, стараясь как можно ярче показать разные грани науки в том ее смысле, который вкладывал в это понятие первый российский академик М.В. Ломоносов: «Наука есть ясное познание истины, просвещение разума, непорочное увеселение жизни, похвала юности, старости подпора, строительница градусов, полков, крепость успеха в несчастии, в частии украшение, везде верный и безотлучный спутник». И теперь продолжаем эту работу в «смутное время» попытки реформации Российской академии наук, чреватое разрушением и деградацией российской науки.

В первой статье этого выпуска мы знакомим читателя с малоизвестной страницей академической истории, которая всегда была тесно переплетена с историей страны. Петербургская Академия наук была создана Петром I как государственное учреждение, и в этом статусе она часто вовлекалась в сложные внутриполитические и дипломатические дела того времени. Изучение архивных материалов, больше похожее на историческое расследование, позволило распутать клубок настоящей интриги, связанной с изданием, «секретно» печатавшимся в собственной типографии Академии, которая отразилась на важных вопросах политической жизни России середины XVIII в.

В фокусе нового выпуска – ретроспективный взгляд на одно из самых интересных астрономических событий года, падение Челябинского метеорита. Изучение метеоритов и ударных кратеров на земной поверхности, а также широкомасштабные исследования Солнечной системы с помощью космических аппаратов позволили создать теорию эволюции Солнечной системы, начиная с момента ее возникновения. Человечеству придется признать, что поток потенциально опасных космических объектов на Землю связан с вечным и неизбежным процессом образования и разрушения небесных тел, который, к счастью, до сих пор не вызвал необратимых изменений земной биосферы.

Для своевременного предупреждения об астероидно-метеоритной опасности необходимо создавать мощные телескопы с большим полем зрения, однако до недавнего времени создание подобных установок стоило бы миллионы долларов считалось неоправданным расточительством. Челябинский феномен, возможно, заставит многие государства пересмотреть свои позиции.

Государственным делом должна стать и поддержка фаготерапии, при которой для борьбы с патогенными микроорганизмами используются особые вирусы-«пожиратели бактерий» (фаги). В отличие от обычных антибиотиков, фаговые препараты отличаются высокой избирательностью, не вызывают лекарственной устойчивости и не имеют негативного побочного действия. Следует заметить, что наша страна была пионером этого важнейшего биомедицинского направления: разработка первых фаговых препаратов началась



в Тбилиси еще в 1930-е гг., а сейчас они выпускаются в промышленном масштабе. Если в рамках развития персонализированной медицины в России будет создана сеть хорошо оснащенных центров, располагающих коллекциями фагов и лабораториями для микробиологического тестирования, у России будут все шансы сохранить лидерство в этой сфере.

Наши ученые добились крупных успехов и в изучении тяжелейшего паразитарного заболевания, вызываемого плоскими червями. Практическим результатом комплексного молекулярно-генетического исследования проблемы описторхоза, включающего расшифровку генома основного его возбудителя в нашей стране, стали новые средства ДНК-диагностики, которые уже проходят завершающую стадию клинических испытаний. Фундаментальные знания, полученные в ходе выполнения проекта, в дальнейшем могут использоваться для выявления новых терапевтических мишеней лечения описторхоза и создания безопасных лекарств.

Подобные примеры успешных научных работ свидетельствуют не столько о назревшей необходимости научно-технического развития, сколько о необходимости государственного регулирования медицинских, инженерных и технологических приложенных научных результатов. Однако глубокая и соответствующая духу времени трансформация РАН – исторической и юридической преемницы петровской Академии – может планироваться лишь при обязательном участии самих ученых и широкой общественности страны. Уместно вспомнить, что итальянская Национальная академия деи Линчеи за 400 лет своего существования была реформирована сверху только один раз – во времена Муссолини.

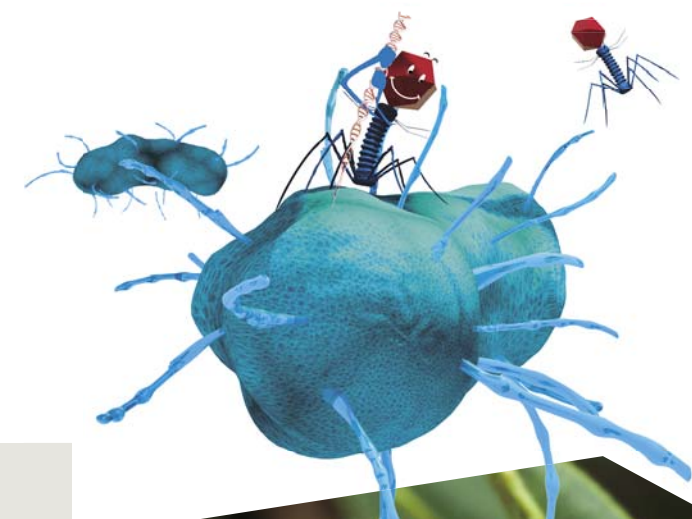
Отношение государства к науке – лакмусовая бумажка его «здоровья», ведь, по словам великого Луи Пастера, «культ наук в самом высоком смысле этого слова, возможно, еще более необходим для нравственного, чем для материального процветания нации. Наука повышает интеллектуальный и моральный уровень; она способствует распространению и торжеству великих идей».

Академик Н.Л. Добрецов,
главный редактор



Над территорией **РОССИИ**, занимающей лишь **3 %** от общей площади земной поверхности, в XXI в. наблюдалось уже **ЧЕТЫРЕ** небесных явления, подобных **ЧЕЛЯБИНСКОМУ** болиду. **С. 36**

Одним из примеров практической реализации принципов **КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ** стала разработка абсолютно **СЕКРЕТНЫХ** систем квантовой **КРИПТОГРАФИИ**. **С. 48**



.01

ИСТОРИЯ НАУКИ

6 Н. А. Копанев
«... печатаны были при академии секретно»

.02

ВСЕЛЕННАЯ

20 В. В. Бусарев
«Метательное копье» Солнечной системы

36 С. А. Язев
Отзвуки Челябинского болида

.03

ГОРИЗОНТЫ НАУКИ

48 И. И. Бетеров
Некоторые элементы квантовой информатики

.04

ЧЕЛОВЕК

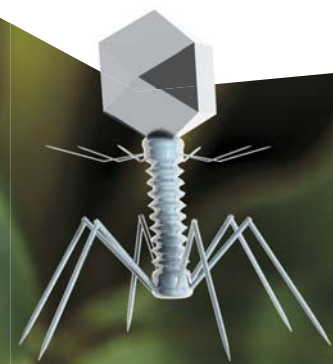
58 Н. В. Тикунова, В. В. Власов
Бактериофаги – враги наших врагов

70 В. А. Мордвинов, Д. П. Фурман
Из личного дела описторхов

.05

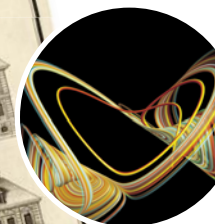
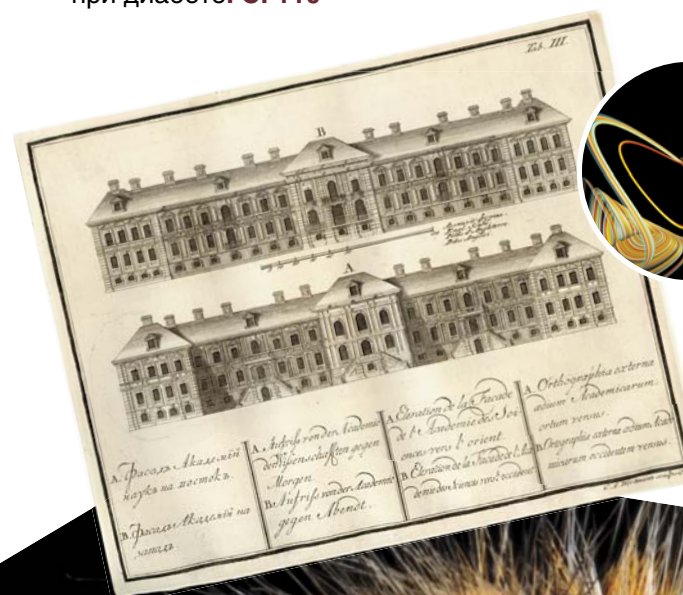
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

80 А. Г. Ершов, И. А. Рыков, Н. В. Снытников
Как создается инженерное наукоемкое ПО мирового класса



Благодаря упорядоченной структуре своих фоторецепторов **НАСЕКОМЫЕ** обладают настоящим «шестым чувством» – **ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ ЗРЕНИЕМ**. **С. 96**

Высокотехнологичные **ПРЕПАРАТЫ** из **ЯГЕЛЯ** оказывают детоксикантное и антибактериальное действие и способны нормализовать **УРОВЕНЬ САХАРА** в крови при диабете. **С. 110**



.06

ЛИЦОМ К ПРИРОДЕ

96 В. В. Глулов
С точки зрения насекомого

.07

НАУКА – ТЕХНОЛОГИЯМ

110 Б. М. Кершенгольц, Е. С. Хлебный, А. А. Шеин, Г. В. Филиппова
Живое «золото» Якутии

.08

НАУКА В КАРТИНКАХ

Мир глазами науки

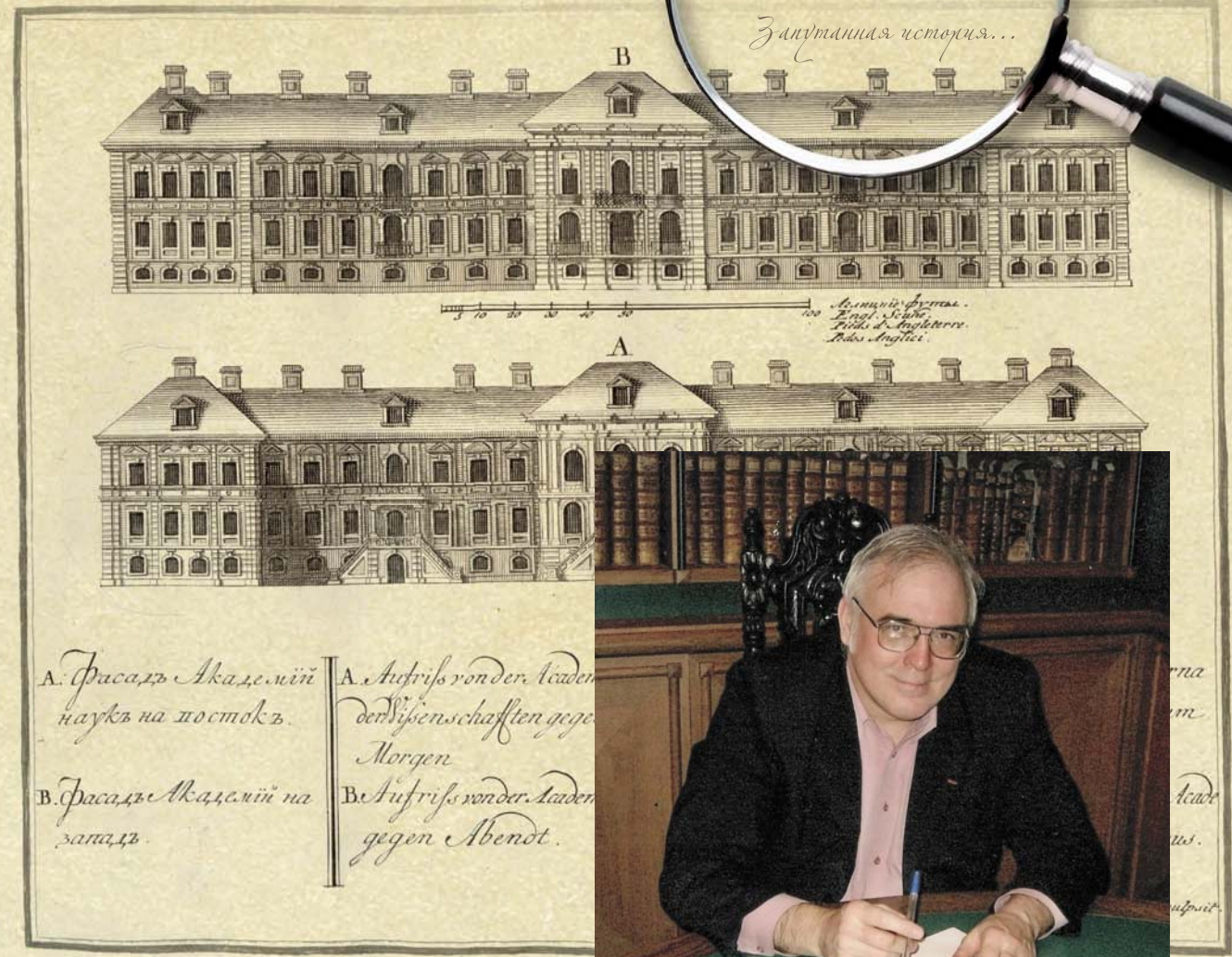
- 118 К. Гиссинджер**
Хаос и геомагнитная инверсия
- 120 Г. Хорн**
С точки зрения бабочки
- 122 Т. А. Новгородова**
Восьмая казнь египетская
- 124 М. В. Тренихин, О. В. Протасова, В. А. Лихолобов, Г. М. Серопян, Ю. Г. Кряжев, В. А. Дроздов**
В сердце нанорозы
- 126 О. Б. Бельская, В. А. Лихолобов**
Носитель платины
- 128 О. Ю. Златоустова, В. В. Наумов, А. Б. Чурилов, А. С. Рудый**
Галерея наноарта



Н. А. КОПАНЕВ

«...печатаны были

при академии секретно»



Петербургская Академия наук с самого своего основания создавалась Петром I как государственное учреждение, руководство и финансирование которого осуществлялось или во всяком случае должно было осуществляться через Сенат. С 1730-х гг. «академическая сумма», выделявшаяся на ее содержание, стала частенько задерживаться, но вместе с тем Академия уже получила в свой состав целые небольшие предприятия, например, типографию, словолитню, фигурную и гравировальные палаты, дававшие определенный доход. Сложная система финансирования первого русского научного учреждения породала порой неожиданные проявления в ее деятельности: Академия издавала газету, календари на русском и немецком языках, выполняла заказы государственных коллегий на издательскую продукцию, например, печатала ярлыки для петербургской таможни или собирала объявления купцов и заезжих учителей, которые рекламировали свои товары и услуги в «Санкт-Петербургских ведомостях». Помимо сугубо научной работы академики вынуждены были заниматься разработкой фейерверков, то есть фактически организовывать придворные праздники. Государственный статус вовлекал Академию наук и в более сложные политические и дипломатические дела

◀ Карта Европы 1791 г.
Российская национальная библиотека

Фасад Академии наук на восток. Фасад Академии наук на запад. Бывший дворец царицы Прасковии Федоровны, построенный на Васильевском острове и переданный в ведение Академии наук в 1725 г. Гравюра резцом Хр. Вортмана. Здесь разместились: на первом этаже – Словолитня, Книжная лавка, Типография, Токарня, Инструментальная палата; на втором этаже – залы для физических опытов, комната и большой зал Конференции, Архив, Географический департамент, Рисовальная и Гравировальная палаты, помещения для печати гравюр. Российская национальная библиотека

КОПАНЕВ Николай Александрович – кандидат исторических наук, руководитель Центра изучения эпохи Просвещения «Библиотека Вольтера» (Российская национальная библиотека, Санкт-Петербург). Кавалер ордена Почетного легиона (Франция). Автор более 70 научных работ

Ключевые слова: Академия наук, дипломатическая борьба в Европе, И. А. Корф, Ж. Руссе де Мисси, академические издания, русско-шведские отношения в XVIII в.
Key words: Academy of Sciences, diplomatic battle in Europe, I. A. Korf, Jean Rousset de Missy, academic editions, Russian-Swedish relations in 18th c.

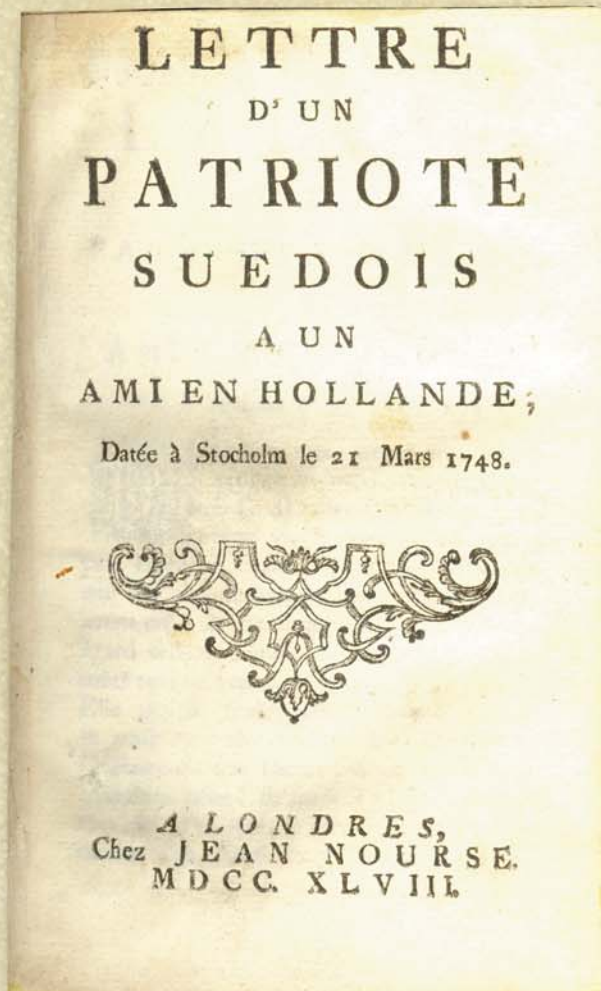
В начале 1749 г. в Петербурге и в Москве в академические книжные лавки поступили для продажи экземпляры книги «Письмо шведского патриота другу в Голландию» («Lettre d'un Patriote suédois a un Ami en Hollande»). По сведениям титульного листа, издание вышло в свет «в Лондоне у Жана Нурса». Вместе с тем в счетных ведомостях того года дотошный академический канцелярист указал: «Оных книг в посланных отседа реестрах не значится, для того что оныя книги печатаны были при академии секретно и посланы особо при партикулярном письме» (СПФ АРАН. Ф. 3. Оп. 1. Д. 1079. Л. 212 об.)

В связи с этим замечанием возникает целый ряд вопросов. Почему широко распродававшееся издание было названо секретным? Почему его распространением занималась Петербургская Академия наук? И почему эта «лондонская» книга числилась среди академических изданий? Ответы на эти вопросы мы найдем не столько в истории Академии наук, сколько в фактах русской дипломатии и политики того времени.

Как известно, императрица Елизавета Петровна взошла на русский трон при поддержке французской дипломатии. Сближение с Францией сопровождалось обменом письмами с Людовиком XV и даже предложением Вольтеру написать историю Петра Великого и избранием его в 1746 г. почетным членом Академии. Однако в эти же годы существовала при петербургском дворе и противоположная партия, возглавлявшаяся канцлером А. П. Бестужевым-Рюминым, который считал себя продолжателем так называемой «Северной системы» Петра Великого или союза России с государствами, бывшими союзниками по Северной войне.

В 1748 г. Бестужеву-Рюмину удалось перехватить часть личной переписки французского посланника маркиза Ж.-И. де ла Шетарди и врача Елизаветы Петровны И. Г. Лестока, в которой давались нелестные и даже уничижительные оценки русской императрицы. Письма были представлены русской императрице, которая сочла их личным оскорблением – маркиз Шетарди был выслан из России, а граф Лесток арестован.

Переворот во внешней политике огромной империи был стремительным. Россия буквально за несколько дней оказалась на пороге войны со своими недавними союзниками. Атаки на русскую дипломатию последовали не только во Франции, но и в других странах, например, в Швеции и Голландии. Было бы наивно предположить, что они останутся без ответа. И действительно, выясняется, что именно в эти годы канцлер А. П. Бестужев-Рюмин через официальных представителей русских посольств в Швеции и Голландии, а также через специально нанятых литературных агентов начал самую деятельную контрпропаганду. Интересно, что Академия наук оказалась в полной мере вовлечена в эту



Титульный лист петербургской «секретной» перепечатки «Писем шведского патриота другу в Голландию».

Российская национальная библиотека

борьбу, развернувшуюся во многих странах Западной Европы и, как мы увидим, продолженную в Петербурге и Москве.

«Письма шведского патриота другу в Голландию»

Известно, что сеть русских литературных агентов за границей сложилась уже в Петровское время при содействии русских дипломатов в Гааге и Париже Андрея Артамоновича Матвеева и Бориса Ивановича Куракина, а позднее графа Г. И. Головкина. И одним из наиболее деятельных литературно-политических посредников России был известный голландский журналист и

историограф Жан Руссе де Мисси. В конце 1720-х гг. он по поручению Б. И. Куракина напечатал в Голландии «Историю» Петра Великого («Mèmoires du règne de Pierre-le-Grand, empereur de Russie», 1725–1726), а также «Мемуары для истории Екатерины I» («Mèmoires du règne de Catherine, impératrice et souveraine de toute la Russie», 1728), два первых сочинения, излагавших официальную версию русской истории с древнейших времен до конца правления Петра I. В дальнейшем он выступал как посредник для публикации официальных русских правительственных документов на французском языке, выполняя, таким образом, очень важные дипломатические функции, а также еще ряд военно-дипломатических и придворных задач, за которые в 1737 г. был пожалован званием почетного члена Петербургской Академии наук. С 1720-х гг. издательским посредником Петербургской Академии наук в Голландии



НАУКА из первых рук <http://scfh.ru/papers/-pechatany-byli-pri-akademii-sekretno/>



Портрет императрицы Елизаветы Петровны. Копия неизвестного художника с работы Л. Каравака. Масло, холст. Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН

Жан Руссе де Мисси (Jean Rousset de Missy, 1686—1762). Гравюра Я. Хоубракена (1698—1780) с портрета Ж. Фурнье (ок. 1700—1765), 1747 г. Из книги «Berkvens-Stevelinck Ch., Vercruysse J. Le Metier de journaliste au dix-huitieme siècle. Correspondance entre Prosper Marchand, Jean Rousset de Missy et Lambert Ignace Doux fils». Российская национальная библиотека



Портрет Иоганна Альбрехта фон Корфа (1697—1766), фотолитография гравюры Фр. Л. Брандта (1747—после 1829) с оригинала К. Г. Пило (1712/1713—1792). Гравюра после 1766 г. Частное собрание

ИОГАНН АЛЬБРЕХТ КОРФ родился в Курляндии. Блестяще закончив обучение в Йенском университете, он поступил на службу ко двору вдовствующей герцогини курляндской Анны Иоанновны. Став русской императрицей, Анна Иоанновна не оставила и своего камер-юнкера, который стал служить при русском дворе. В сентябре 1734 г. И. А. Корф был назначен Главным командиром, то есть президентом Петербургской Академии наук, что вполне соответствовало интересам этого образованного человека. С Академией, во всяком случае с ее Книжной лавкой, у Корфа были налаженные связи: большой любитель книг, он собрал библиотеку (около 34 000 томов), которая стала одной из крупнейших в России того времени. Вступив в должность президента Академии наук, И. А. Корф занялся налаживанием совершенно расстроенных академических дел. К тому времени Академия почти не получала финансирования, и новый президент начал с того, что подсчитал, сколько же денег не достает в академическом бюджете, и настойчиво стал требовать их с Сената. Корф сделал первые попытки создания научных структур в Академии: Российского собрания, Математического собрания, при нем был организован Географический департамент, создан «академический отряд» в составе Второй Камчатской экспедиции. Корф занялся и воплощением в жизнь проекта Петра I об обучении природных россиян для их деятель-

ности в разных областях науки. Это именно при Корфе из Москвы из Славяно-греко-латинской академии были присланы ученики для продолжения обучения в Академии, а трое из них отправлены для получения образования в Германию. Среди них был и Михаил Васильевич Ломоносов. Стоит только пожалеть о том, что уже в 1740 г. И. А. Корф, не без интриг Бирона, получил новое назначение, а Академия осталась без разбирающегося в науках президента. В 1740 г. он был отправлен чрезвычайным посланником при Датском дворе и в Нижней Саксонии, а в 1746 г. в Стокгольм. И. А. Корф был талантливым дипломатом, настойчиво добивавшимся решения поставленных перед ним задач и отстаивавшим интересы России. Осложнение русско-шведских отношений и слишком активная позиция русского посланника привели к отзыву Корфа и возвращению его в Данию. Именно с этим периодом его деятельности и связано появление «Писем шведского патриота другу в Голландию». В 1748 г. Корф стал действительным тайным советником. Считается, что именно И. А. Корф представил правительству России проект создания союза северных государств Европы в противовес объединению католических государств на европейском юге. Эту идею, получившую название «Северного аккорда», отстаивал потом Н. И. Панин. До конца жизни И. А. Корф прожил в Дании, где и скончался в 1766 г.

кроме Руссе де Мисси выступала также издательская фирма Пьера Госса, а позднее Пьера Госса младшего.

Именно Жан Руссе де Мисси подготовил, а Пьер Госс* напечатал в Гааге в 1748 г. политический памфлет «Письмо шведского патриота другу в Голландию» («Lettre d'un Patriote suédois a un Ami en Hollande») на французском языке. На титульном листе издания были приведены фиктивные выходные данные «В Лондоне у Жана Нурса» (A Londres, Chez Jean Nourse). Именем реально существовавшего лондонского издателя Ж. Нурса в те годы часто пользовались голландские типографы для нелегального выпуска заказных, политических изданий.

К этому времени отношения России и Швеции крайне осложнились. В Швеции шла внутренняя борьба двух партий: сторонников сближения с Францией и сторонников налаживания отношений с Россией. Еще в 1746 г. шведский король потребовал отозвать из Стокгольма русского посла И. А. Корфа. В Швеции ему инкриминировались вмешательство во внутренние дела, разжигание неприязни между различными группами шведского общества, например, заигрывание с крестьянскими и купеческими депутатами в шведском парламенте, а также действия, направленные против влиятельного шведского сенатора графа К. Г. Тессина. Не будем комментировать эти обвинения, а заметим только, что в действительности влияние русского посланника в Стокгольме в эти годы было очень значительным и играло важную роль в сохранении стабильности на Севере Европы. Швеция, связанная тесными контактами с Францией и Турцией, могла при определенном стечении обстоятельств вновь начать прямое военно-политическое давление на Россию, особенно учитывая географическую близость к Швеции новой столицы Российской империи.

Голландец Иван Абраблев

Опубликованный в Гааге памфлет «Письмо шведского патриота другу в Голландию» состоял из подлинных документов русской Коллегии иностранных дел, двух писем шведского короля Фридриха к Елизавете Петровне и ее ответов, меморандумов и нот шведского посланника в России де Барка, меморандума А. П. Бестужева-Рюмина, переданного от имени России шведскому посланнику, ноты шведского короля от 30 декабря 1748 г. и ответ на ноту от 4 февраля 1748 г., подписанный А. П. Бестужевым-Рюминым и С. М. Воронцовым,

* В результате просмотра значительного объема голландских изданий середины XVIII в. голландское издание «Писем шведского патриота» удалось атрибутировать именно Пьеру Госсу. Об этом см. Копанев Н. А. «О первых изданиях сатиры А. Кантемира»

а также один документ русского посла в Швеции барона И. фон Корфа. Всей публикации была предпослана вводная часть, написанная, очевидно, Руссе де Мисси, в которой от имени «шведского патриота» была дана доброжелательная оценка русской политики в Швеции. Елизавета Петровна называлась в этой политической публикации не иначе как «великая повелительница», «истинная благодетельница» и «истинная освободительница». О шведском же короле говорилось, что тот «вверил свои чувства недобросовестным советчикам, которые нашли способ злоупотребить ими».

Вскоре появилось и «Второе письмо шведского патриота другу в Голландию», также снабженное абсолютно достоверными дипломатическими документами: оригинальными письмами императрицы, ответами шведских послов и заявлениями русских дипломатов. Заканчивалась публикация документов «Нотой камергера Панина», как бы ставившей точку в деле: в связи с тем что шведский посол в оскорбительной форме отказался принять подарок императрицы при прощальной аудиенции, русским дипломатам предписывалось впредь не брать аналогичных подарков от шведского короля. По существу, это было знаком крайнего кризиса русско-шведских дипломатических отношений.

Вместе с тем повторим, в лучших традициях отечественной дипломатии, все публиковавшиеся документы «Писем шведского патриота» подтверждали миролюбие, благородство замыслов и чистосердечие российской императрицы. Отдельно в памфлете и в публикации документов подчеркивалась дипломатическая безупречность полномочного посла императрицы в Швеции барона И. А. Корфа. Издания «Писем шведского патриота другу в Голландию» были хорошо напечатаны в Гааге, украшены заглавными буквами и виньетками. Цена, которая была заплачена через Академию Пьеру Госсу младшему за его работу, — титул почетного книгопродавца Академии наук, а также прощение долгов и оказание другой финансовой поддержки. Руссе де Мисси был отмечен более подчеркнуто — в августе 1748 г. он получил за «оказанные от него государству полезные и нужные услуги» чин коллежского советника, который в сентябре того же года был заменен на чин Советника канцелярии в ранге полковника, «как более распространенный и известный за границей».

Руссе де Мисси не замедлил сообщить об этом в Голландию своему другу журналисту Просперу Маршану: «Узнайте что Императрица России только что назначила меня Советником канцелярии в ранге полковника с жалованием в 4800 флоринов» («prenez que L'Imp. de Russie vient de me nommer Conseiller de chancellerie avec rang de colonel et gratification de 4800 fl.») Заметим, что сумма 4800 флоринов была очень высокой и равнялась, например, жалованию руководителя Канцелярии, второго лица в Академии наук того времени после



Портрет графа Кирилла Григорьевича Разумовского, президента Императорской Академии наук с 1746 по 1798 г. Неизвестный художник с оригинала П. Дж. Батони 1766 г. Вторая половина XVIII в. Масло, холст. 73 × 62. МАЭ РАН

Президента. Кроме того, чин «Советника канцелярии в ранге полковника» давал подданному российской императрицы дворянство и даже право на владение крепостными крестьянами. Но в биографии Руссета де Мисси появилась и еще одна особенность: он получил русский дипломатический и агентурный псевдоним – Иван Абраблев. 4 ноября 1750 г. в очередном письме к Просперу Маршану он подписался: «Je vous embrasse, et suis a Vous Le chev. Abrablew; (c'est mon Nom Moscovite)»

(«Обнимаю Вас и остаюсь Вашим Шевалье Абраблев; (это мое Московитское имя)» (Berkvens-Stevelinck Ch., 1993, p. 107).

«Секретные» издания в типографии Академии наук

Дальнейшая история этого издания раскрылась благодаря уже упомянутому в начале статьи Счетным выпискам Московской книжной лавки Академии наук, куда в начале 1749 г. поступило 48 экз. «Первого» и 65 экз. «Второго письма», где книги были названы «секретными» и академическими. Оказалось, что книга, имевшая определенное политическое и придворное значение, была подделана в Академии наук, скорее

всего, по указу канцлера А. П. Бестужева-Рюмина и президента Академии К. Г. Разумовского, а конкретными исполнителями были Г. Н. Теплов, И. Тауберт и И. Д. Шумахер, который оставался в Петербурге во время пребывания двора и президента Академии наук в Москве. Интересно, что в процессе подделки были полностью скопированы все книжные украшения оригинала и в академических мастерских даже попытались точно передать наборные орнаменты и украшения инициалов. На титульном листе были оставлены те же поддельные выходные данные «A Londres, Chez Jean Nourse», что и на гаагском издании.

Все говорит о том, что копию старались сделать похожей на голландский оригинал. Для двух титульных виньеток были вырезаны две копии на деревянных

СОБРАНИЕ РАЗНЫХЪ СОЧИНЕНИЙ

ВЪ СПИХАХЪ И ВЪ ПРОЗѢ

МИХАЙЛА ЛОМОНОСОВА.

КНИГА ПЕРВАЯ.



Печатано при Императорской Академіи наукъ
1751 года.



(128)
point l'accepter, quoi que ce puisse être;
en ajoutant que sa Cour a resolu de ne plus
donner à l'avenir quelque présent que ce
soit à aucun Ministre Suedois qui y vien-
dra, de quelque caractère qu'il soit revêtu.

F I N.



Последняя страница «Второго письма шведского патриота другу в Голландию» с виньеткой. Оригинальное голландское издание. Российская национальная библиотека

Титульный лист «Собрания разных сочинений в стихах и прозе. Кн. 1. СПб.: Печатано при Императорской Академии наук, 1751» М. В. Ломоносова с виньеткой, взятой из «Второго письма шведского патриота другу в Голландию». Российская национальная библиотека



LETTRE

D'UN
PATRIOTE SUEDOIS
A UN
AMI EN HOLLANDE;

datée à Stocholm le 21 Mars 1748.

ENFIN, mon cher Ami, je me trouve en état de vous annoncer la fin de notre fatale Diète. C'est pour de bonnes raisons que je puis l'appeller fatale, parce qu'elle a été une des plus scabreuses que jamais nous avons eue, & qui surpasse infiniment à cet égard celle de l'année 1738, qui nous a coûté tant de veilles & une mer de larmes. Elle pourra seule fournir ample matière pour composer le second Volume de l'Histoire de nos Diètes, & de ce que nous nommons hélas! de sages Transactions. Autant que, d'un côté, le Parti actuellement dominant s'est efforcé de tirer en longueur la Diète qui vient de finir, afin d'exécuter encore d'autres projets nuisibles, & pour extirper entièrement tout ce qu'il y a de fidèles & zélés Patriotes; autant il de

A 2

Первая страница оригинального голландского издания «Письма шведского патриота другу в Голландию» с заглавной орнаментированной буквой **Е**. Российская национальная библиотека

LETTRE

D'UN
PATRIOTE SUEDOIS
A UN
AMI EN HOLLANDE;

datée à Stocholm le 21 Mars 1748.

ENFIN, mon cher Ami, je me trouve en état de vous annoncer la fin de notre fatale Diète. C'est pour de bonnes raisons que je puis l'appeller fatale, parce qu'elle a été une des plus scabreuses que jamais nous avons eue, & qui surpasse infiniment à cet égard celle de l'année 1738, qui nous a coûté tant de veilles & une mer de larmes. Elle pourra seule fournir ample matière pour composer le second Volume de l'Histoire de nos Diètes, & de ce que nous nommons hélas! de sages Transactions. Autant que, d'un côté, le Parti actuellement dominant s'est efforcé de tirer en longueur la Diète

A 2

Первая страница петербургской подделки «Письма шведского патриота другу в Голландию» с заглавной орнаментированной буквой **Е**. Рисунок буквицы менее интенсивный, с меньшим количеством деталей в украшении. При сравнении с первой страницей голландского издания видно разное количество строк на листе.
Российская национальная библиотека

досках, которые в общих чертах повторяли рисунок оригиналов, но в деталях незначительно отличались от них. Это легко увидеть, сравнивая приводимые нами образцы. Как мы уже писали, были сделаны копии инициалов и заглавных букв. Шрифты подбирались аналогичные, но не идентичные, так как таких в Петербурге просто не было. Были скопированы даже концовки, которые в голландском оригинальном издании были наборными. Вместе с тем, видимо, не было цели сделать полную подделку, так как набор и нумерация страниц немного изменены, что привело к смещению текста и увеличению общего количества страниц.

Интересно, что выполненные новые матрицы для виньеток и инициалов тут же были использованы типографией Академии наук для печати своих изданий и не каких-либо, а например, книги «Торжество Академии наук ... ноября 26 дня 1749 года». Одним из произведений, вошедших в сборник, была знаменитая речь М. В. Ломоносова «Слово похвальное Ея величеству государыне императрице Елизавете Петровне, самодержице всероссийской, говоренное ноября 26 дня 1749 года». Первую строку этой речи украшает заглавная буква **Е**, являющаяся копией, выполненной в процессе подделки «Первого письма шведского патриота».

Виньетка «Первого письма шведского патриота» в 1752 г. была напечатана на титульном листе первого тома «Сочинений и переводов» В. К. Тредиаковского. В 1751 г. виньетка «Второго письма шведского патриота» украсила титульный лист первого тома «Собрания разных сочинений в стихах и прозе» М. В. Ломоносова.

Причиной таких сложных манипуляций, как подделка «Писем шведского патриота» Академией наук, несомненно, явилось желание



Еспьли бы въ сей пресвѣплый праздникъ, Слушатели, въ который подѣ благословенною державою всемилостивѣйшя Государыни нашей покоящіяся многочисленныя народы торжествуютъ и веселятся о преславномъ Ея на Всероссійскій пресполь восшеспви, возможно было намъ радостію восхищеннымъ вознесись до высопы толикой, съ которой бы могли мы обозрѣть обширность пространныаго Ея владычества, и слышать опъ восходящаго до заходящаго солнца непрерывно проспирющіяся восклицанія и воздухъ наполняющія именованіемъ **ЕЛИСАВЕТЫ**; коль красное, коль великолѣпное, коль радостное позорище намъ бы опкрылось! Коль многоразличными празднующихъ видами духъ бы нашъ возвеселился, когда бы мы себѣ чувствами представили, что во градѣхъ крѣпче миромъ нежели спѣнами огражденныхъ, въ селахъ плодородіемъ благословенныхъ, при моряхъ опъ военной бури и шума свободныхъ, на рѣкахъ изобиліемъ протекающихъ между веселящимися брегами,

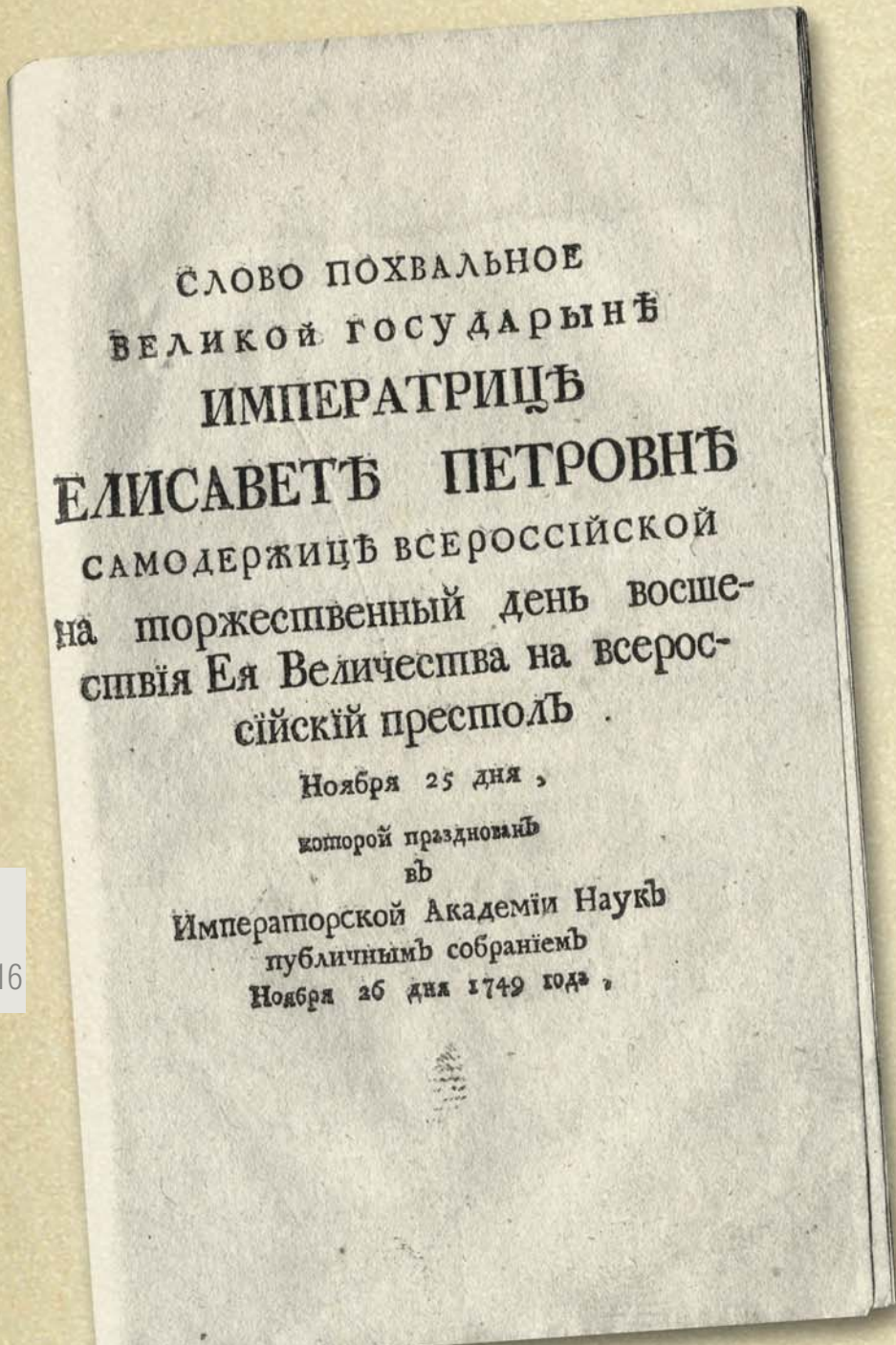
М 2

Буква **Е**, выполненная для подделки «Первого письма шведского патриота...» и использованная при издании произведения М. В. Ломоносова «Слово похвальное Ея величеству государыне императрице Елизавете Петровне, самодержице всероссийской, говоренное ноября 26 дня 1749 года».
Российская национальная библиотека

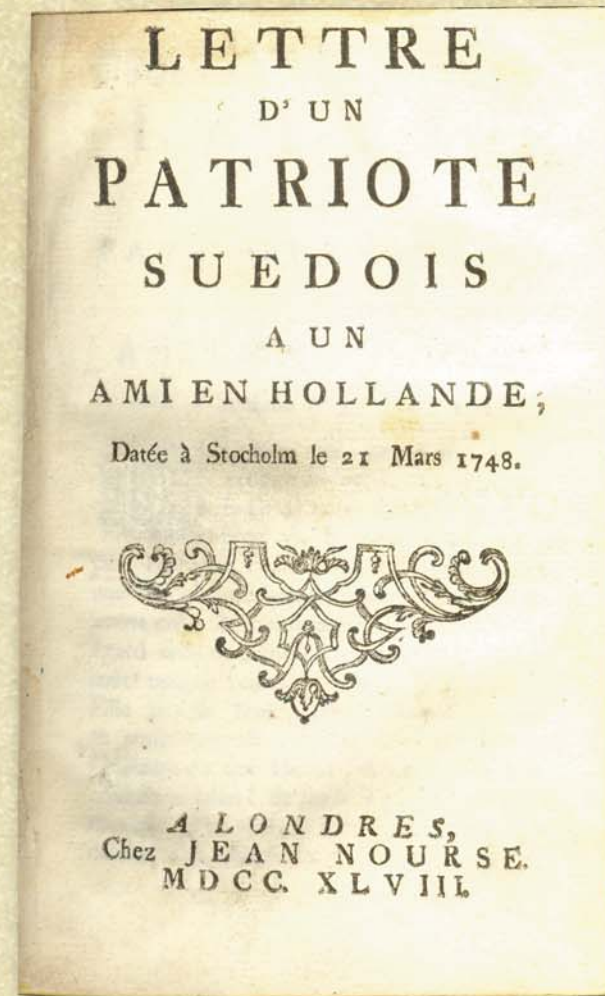


Коллегии иностранных дел наиболее полно информировать петербургский двор и иностранных дипломатов обо всех нюансах позиции России по ключевым вопросам международной политики. Тем более что в разгоравшемся тогда русско-шведско-французском дипломатическом конфликте пострадавшей персоной оказывался Иоганн Альбрехт фон Корф – бывший Главный командир, или президент, Академии и посол в Швеции.

Кроме того, известно, что Корф был одним из видных деятелей влиятельной придворной партии при русском дворе, которая стремилась к созданию союза северных держав в противовес влиянию Франции на севере Европы. В эту политико-придворную партию входили, кроме Корфа и Бестужева-Рюмина, Н.И. Панин – будущий вершитель русской политики при Екатерине II, тогда молодой камергер и посланник, а также уже названные выше президент Академии наук К.Г. Разумовский и Г.Н. Теплов.



Титульный лист «Слова похвального Ея величеству государыне императрице Елизавете Петровне, самодержице всероссийской, говоренное ноября 26 дня 1749 года». Опубликовано в издании «Торжество Академии наук в честь ... дня восшествия на престол Ея Императорскаго Величества всепресветлейшая державнейшая великия Государыни Императрицы Елисаветы Петровны Самодержицы Всероссийския...». СПб.: Печатано при Императорской Академии наук, 1749. *Российская национальная библиотека*



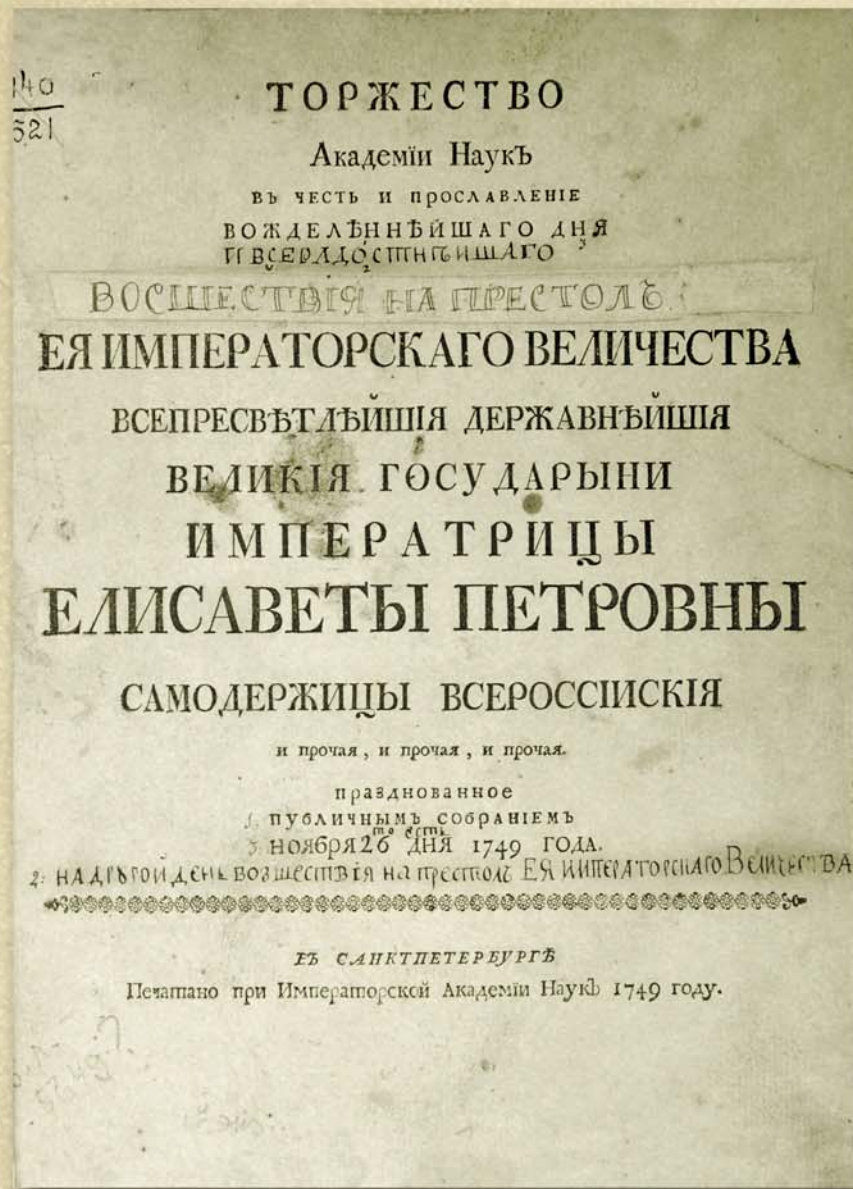
Титульный лист петербургской «секретной» перепечатки «Писем шведского патриота другу в Голландию». *Российская национальная библиотека*



Русская копия голландской виньетки с «Первого письма шведского патриота другу в Голландию». Использовалась при оформлении издания сочинений В.К. Тредиаковского. *Российская национальная библиотека*



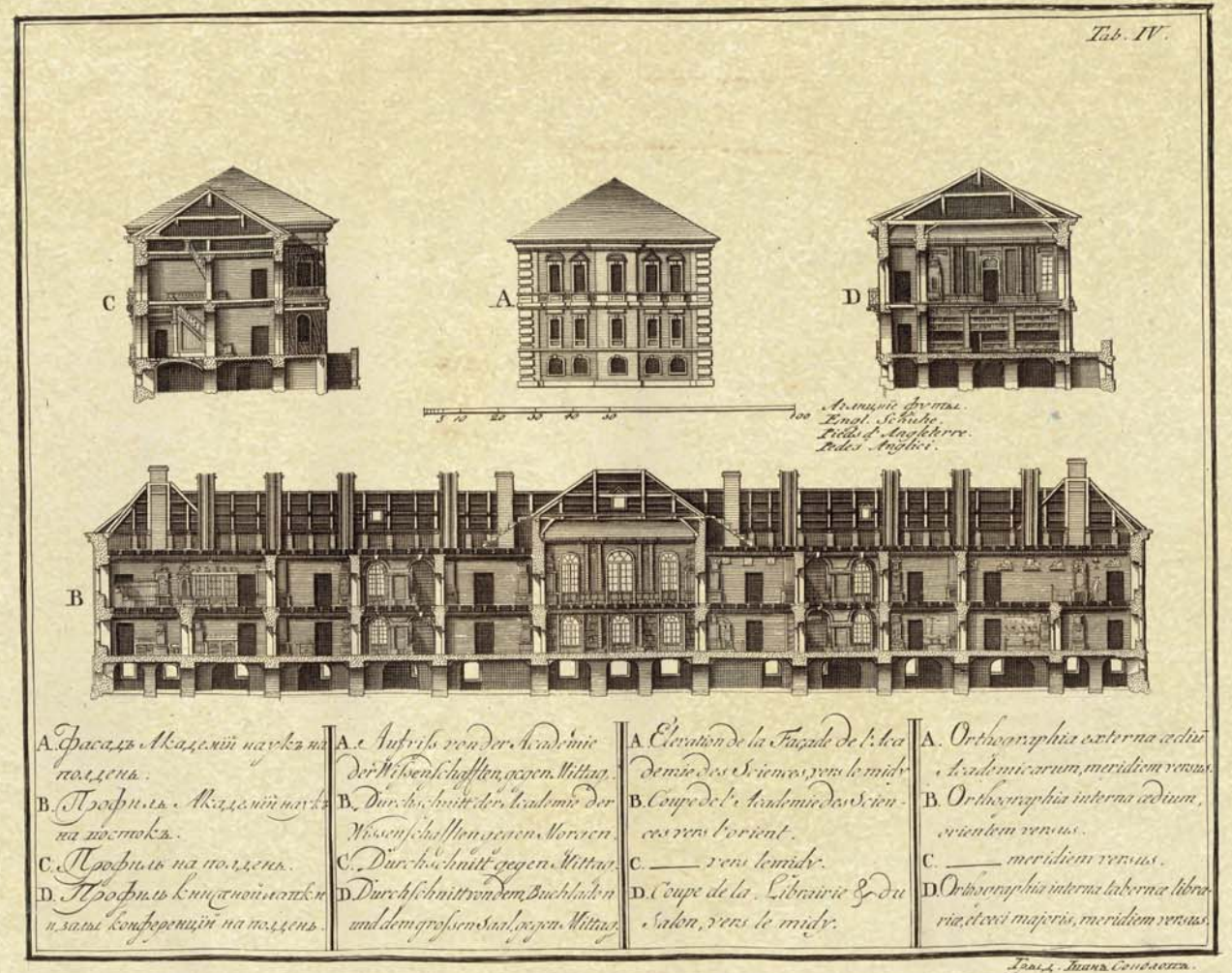
Титульный лист «Сочинений и переводов как стихами так и прозою Василья Тредиаковского. Том первый. В Санктпетербурге: При Императорской Академии наук, 1752 года» с виньеткой, взятой из «Первого письма шведского патриота другу в Голландию». *Российская национальная библиотека*



Титульный лист издания «Торжество Академии наук в честь и прославление вожделеннейшаго и всерадостнейшаго дня восшествия на престол Ея Императорскаго Величества всепресветлейшия державнейшия великия Государыни Императрицы Елисаветы Петровны Самодержицы Всероссийския и прочая, и прочая, и прочая празднованное публичным собранием на другой день восшествия на престол Ея императорскаго величества то есть ноября 26 дня 1749 года.». СПб.: Печатано при Императорской Академии наук, 1749. Российская национальная библиотека

Издание в типографии Академии наук и распространение «Писем шведского патриота» явилось своеобразным манифестом этой группы, состоявшей из молодых людей, объединенных вокруг малого великокняжеского двора. Дело состояло в том, что в сложившейся тогда династической ситуации власть в России должна была перейти к великому князю Петру Федоровичу, прямому наследнику как русского царя Петра I, так и шведского короля Карла XII.

Существует предположение, что уже в 1740-х гг. был заключен брачный контракт, по которому в случае смерти Петра III русский престол наследовала его супруга Екатерина Алексеевна. Эти сведения, конечно, можно было бы игнорировать, если бы через 15 лет в июне 1762 г. по «случайному стечению обстоятельств» Екатерина не взошла на русский трон именно этим путем, то есть в связи со смертью своего супруга. Причем манифест «О восхождении на российский престол» был отпечатан заранее, секретно, на печатных станах Академии наук и теми же людьми – президентом Академии наук К. Г. Разумовским, Г. Н. Тепловым и И. Таубертом, которые в 1748 г. напечатали в Петербурге поддельное «секретное» издание «Писем шведского патриота другу в Голландию».



Профиль Академии наук на полдень. Под литерой D: Профиль Книжной лавки и зала Академической конференции. Гравюра резцом И. А. Соколова. Из альбома. «Палаты Санкт-Петербургской Императорской Академии наук библиотеки и Кунсткамеры». СПб., 1741. Российская национальная библиотека

Литература:
 Копанев Н. А. О первых изданиях сатиры А. Кантемира // Русская литература XVIII века в ее связях с искусством и наукой. Л., 1986. 140–154. (XVIII век. Сб. 15).
 Торжество Академии наук в честь и прославление вожделеннейшаго и всерадостнейшаго дня восшествия на престол Ея Императорскаго Величества всепресветлейшия державнейшия великия Государыни Императрицы Елисаветы Петровны Самодержицы Всероссийския и прочая, и прочая, и прочая празднованное публичным собранием на другой день восшествия на престол ея императорскаго величества то есть ноября 26 дня 1749 года. СПб.: Печ. при Имп. Акад. наук, 1749.

Berkvens-Stevelinck Ch., Verduynde J. Le Metier de journaliste au dix-huitieme siècle. Correspondance entre Prosper Marchand, Jean Rousset de Missy et Lambert Ignace Douxfils // SVEC. T. 312. Oxford, 1993. P. 107.
 Lettre d'un Patriote Suedois a un ami en Hollande: datue a Stockholm le 21 Mars 1748. A Londres, Chez Jean Nourse, 1748.
 Seconde Lettre d'un Patriote Suedois a un ami en Hollande: datue a Stockholm le 27 Decembre 1748. [A Londres, Chez Jean Nourse, 1748].

В. В. БУСАРЕВ

«МЕТАТЕЛЬНОЕ КОПЬЕ» СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ



БУСАРЕВ Владимир Васильевич – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела исследований Луны и планет Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.
Автор и соавтор 100 научных работ

© В. В. Бусарев, 2013

В переводе с греческого «болидос» означает «метательное копье». Болидом принято называть очень яркий метеор – светящийся атмосферный след крупного метеороида, стремительно летящего к земной поверхности подобно падающему копью. Последним из таких удивительных небесных явлений стал получивший широчайшую известность Челябинский болид. Мощность взрыва этого метеороида была оценена примерно в половину мегатонны в тротиловом эквиваленте – в 20–30 раз мощнее атомной бомбы, уничтожившей Хиросиму! Метеорит, названный «Челябинск», стал самым большим среди всех небесных тел, упавших на Землю после знаменитого Тунгусского метеорита, падение которого произошло более ста лет назад

Челябинский болид наблюдался над Южным Уралом 15 февраля 2013 г. Фото М. Ахметвалеева
Предоставлено Челябинским государственным краеведческим музеем

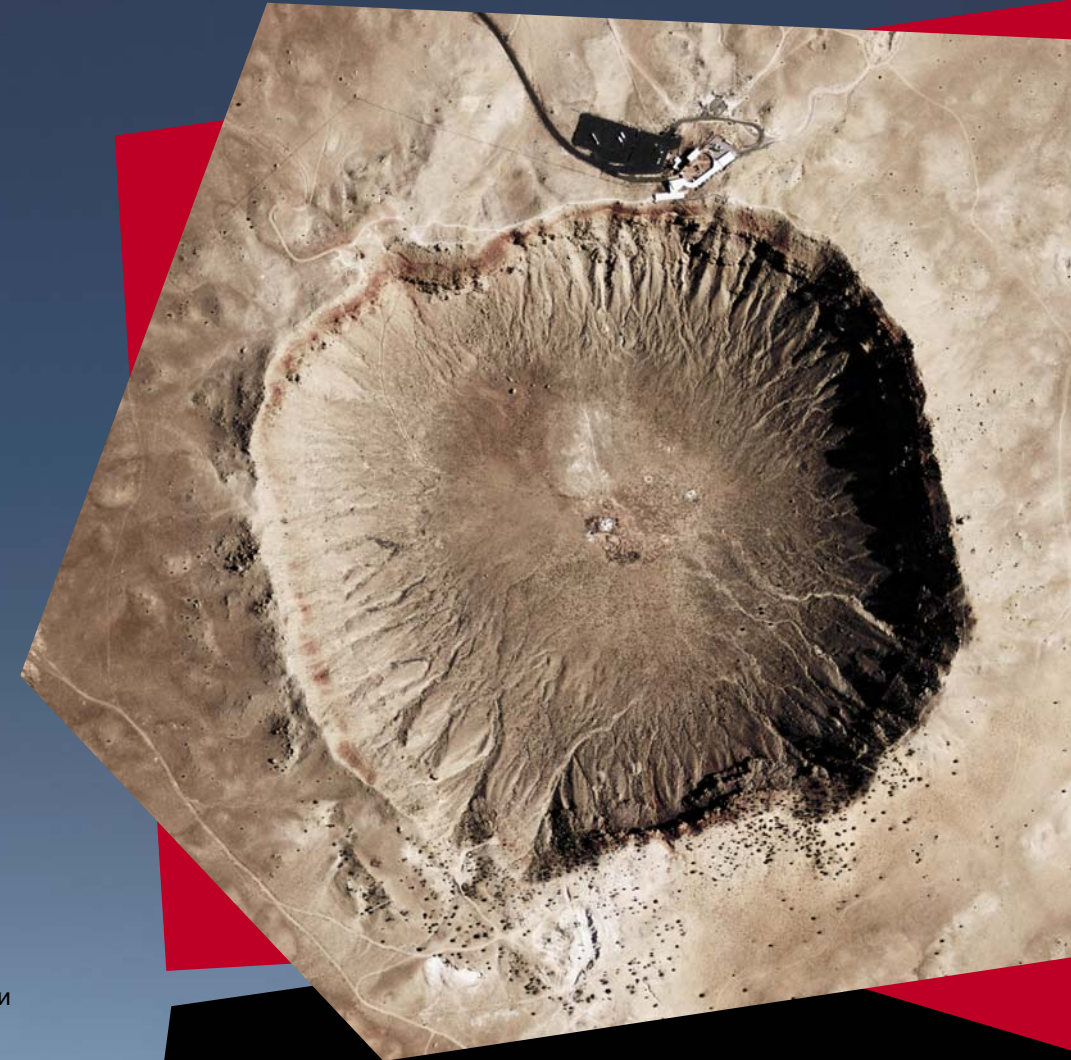
Ключевые слова: метеориты, метеоры, метеороиды, столкновения небесных тел, перенос вещества в Солнечной системе.

Key words: meteorites, meteors, meteoroids, collisions of celestial bodies, transport of matter in the Solar System

Метеориты (дословно «камни с неба») – это фрагменты небесных тел, астероидов и комет, упавших на Землю. При соударении внеземного тела размером 10–20 м с земной поверхностью образуется ударно-взрывной метеоритный кратер.

Справа вверху – кратер Бэрринджера (или Аризонский кратер) глубиной 180 м, образовавшийся при падении 50-метрового метеорита.
Вид с МКС (http://bigpicture.ru/wp-content/uploads/2009/06/i14_0000.jpg).
Кредит: NASA/USGS

Справа внизу – астероид 951 Гаспра длиной 19 км.
Фото КА «Галилео» (НАСА), 1991 г. <http://www.solarviews.com/raw/ast/gaspra3.gif>
Кредит: NASA/USGS





Одним из очевидцев падения болида стал молодой челябинский фотограф Марат Ахметвалеев. 15 февраля 2013 г. ему удалось сделать уникальную серию снимков, на которых запечатлена последовательность событий (вспышек и взрывов) и траектория болида.
*На фото – остаточный след болида на восходе Солнца.
Фото М. Ахметвалеева. Предоставлено Челябинским государственным краеведческим музеем*



Челябинский метеороид вошел в земную атмосферу с восточного направления под малым углом к горизонту с огромной скоростью (около 18 км/с). Исходя из первоначальной массы и размеров небесного тела (около 9–10 тыс. т и 17 м соответственно), его плотность была оценена примерно в 3,5 г/см³, что соответствует плотностям каменных недифференцированных метеоритов (2,0–3,7 г/см³). Значительную силу взрыва этого сравнительно небольшого каменного тела можно объяснить его лавинообразным дроблением и последующим резким возрастанием силы торможения в земной атмосфере, благодаря чему большая часть кинетической энергии преобразовалась в тепловую.

Есть эмпирическое правило: при падениях и взрывах в атмосфере достаточно крупных тел на земную поверхность выпадает не более 10 % их первоначальной массы. С учетом начальной массы Челябинского метеороида можно допустить, что в этом случае на поверхность должно было выпасть несколько сотен тонн метеоритного вещества. Предполагаемый эллипс рассеяния метеорита (примерно 130 × 20 км) протянулся от точки южнее и западнее Челябинска до Златоуста, поэтому не исключено, что в этом огромном районе будут найдены и более крупные фрагменты.

Сразу по «горячим следам» были найдены частично оплавленные небольшие фрагменты метеоритного вещества общей массой около 3,5 кг. Первоначальный анализ состава этих осколков показал, что вещество метеорита представляет собой так называемый обыкновенный хондрит химической группы LL5. Аббревиатура LL означает, что в нем весьма мало (около 1,7 вес. %) железа и прочих металлов по сравнению с другими подобными метеоритами; цифра 5 показывает петрологический тип (самый высокий характеризуется цифрой 6), свидетельствующий о тепловом метаморфизме (изменении) вещества метеорита, которое произошло еще до его падения на Землю. Основные минералы, входящие в состав этого метеорита, – оливин, орто- и клинопироксен, плагиоклаз, хромит, троилит, железоникелевый сплав и апатит.

Сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН (Москва) и член Комитета по метеоритам к. г.-м. н. Д. Д. Бадюков, занимающийся изучением найденных осколков Челябинского метеорита, утверждает, что его минералогический и химический состав достаточно однороден; уточненная плотность метеорита – 3,2 г/см³. Возраст же метеорита составляет примерно 4,5 млрд лет, как и у всех обыкновенных хондритов.

На основе этих данных можно предположить, что метеорит образовался в Главном поясе астероидов, а размеры его родительского тела составляли несколько сотен километров. И еще один интересный факт: асте-

Возраст метеоритов оценивают по содержанию в их веществе долгоживущих радиоактивных изотопов и продуктов их распада. АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ метеоритов, являющихся фрагментами астероидов, составляет около 4,6 млрд лет.

Существует еще понятие КОСМИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА метеоритов, который соответствует моменту разрушения их родительского тела и выделению метеоритов как самостоятельных космических объектов. Такой возраст определяется количеством накопленных в метеоритах под действием потоков частиц космогенных изотопов (¹⁰Be, ¹⁴C и др.). Диапазон космического возраста каменных и железных метеоритов широко варьирует, при этом максимум приходится на 10⁷–10⁸ лет.

Понятием ЗЕМНОЙ ВОЗРАСТ метеорита обозначается временной интервал между падением метеорита на земную поверхность и его находкой, за который метеоритное вещество подвергается эрозионным изменениям

роид, из которого произошел метеорит, очевидно, испытал сильный удар. По-видимому, с ним столкнулось другое массивное небесное тело, в результате чего его вещество стало рыхлым, а в многочисленных трещинах сохранился застывший ударный расплав.

Параметры болида продолжают до сих пор уточняться, для чего используются данные инфразвуковых, сейсмических, метеорологических станций, а также материалы многочисленных видеосъемок.

Один раз в столетие

События, подобные падению Челябинского болида, происходили и происходят на Земле повсеместно, иногда оставляя после себя заметные «следы» – кратеры.

Наиболее яркий пример такого рода – хорошо сохранившийся Аризонский метеоритный кратер – иначе, кратер Бэрринджера – с диаметром 1,2 км и глубиной 180 м, расположенный на севере штата Аризона (США). Геологические исследования и численное моделирование показали, что он образовался около 50 тыс. лет назад в результате удара о поверхность 50-метрового метеорита, весившего 300 тыс. т и летевшего со скоростью 12–17 км/с. Взрыв при этом был втрое более мощный, чем при падении Тунгусского тела, а сам метеорит практически полностью рассеялся и испарился, несмотря на свой преимущественно металлический состав. Общая масса космического вещества, падающего на Землю в течение года по разным оценкам достигает от 100 до 1000 т. Метеороиды входят в земную атмосферу со скоростью от 11,2 км/с (на «догоняющих» траекториях) до 72 км/с (на встречных траекториях) в любом направлении и в любое время суток и года.

На планетах без атмосферы (таких как Меркурий) либо с гораздо более разреженной атмосферой по сравнению с земной (например, на Марсе) метеоритные кратеры образуются при ударах значительно меньших по размеру и менее прочных тел, чем на Земле.

Вверху – метеоритные кратеры на поверхности Меркурия.

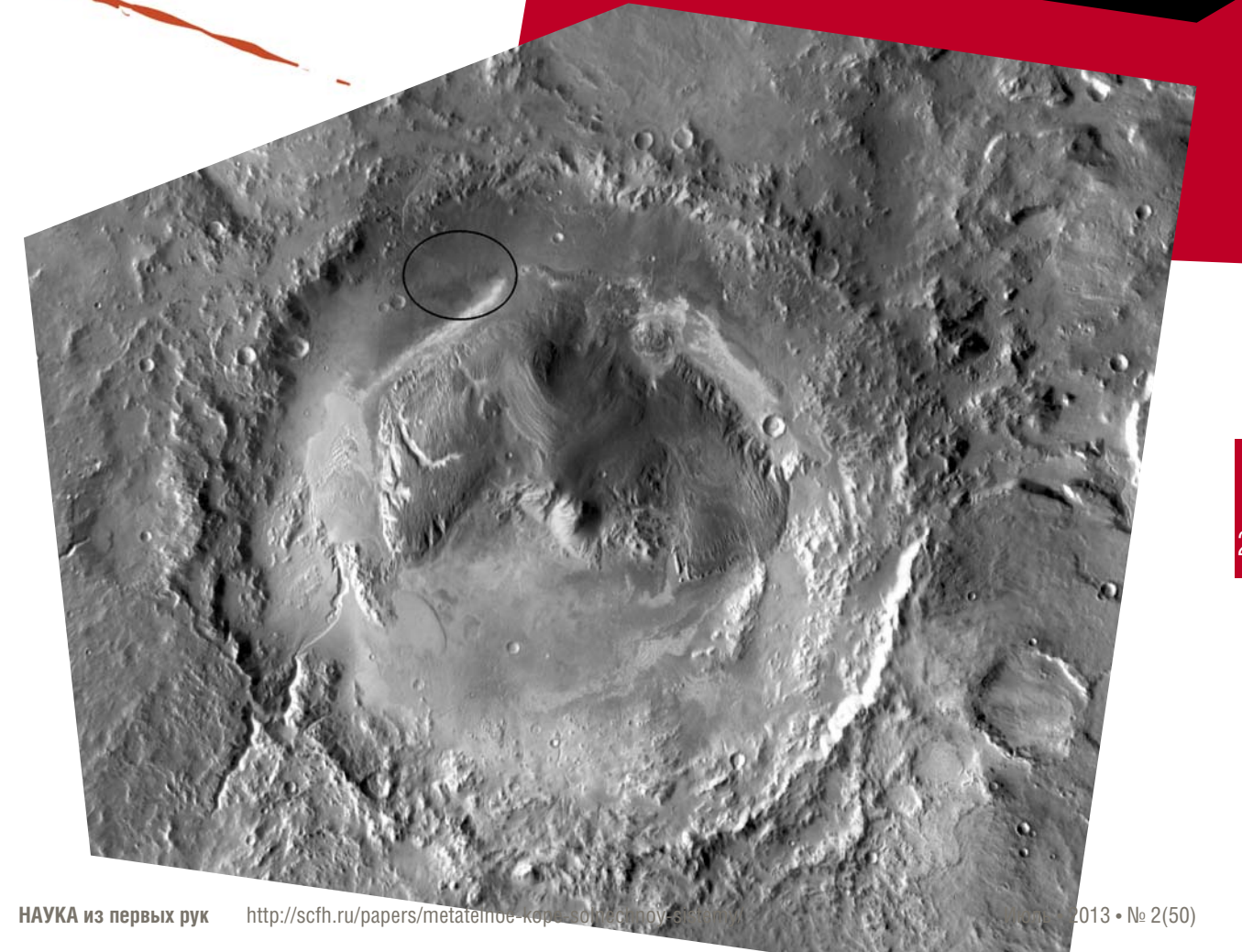
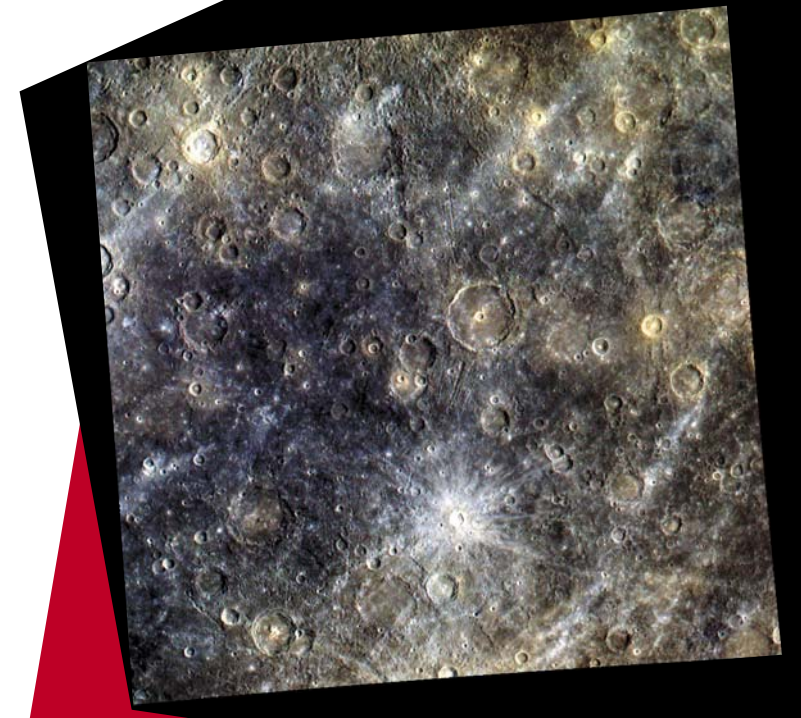
Фото КА «Мессенджер» (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA14233.jpg>).

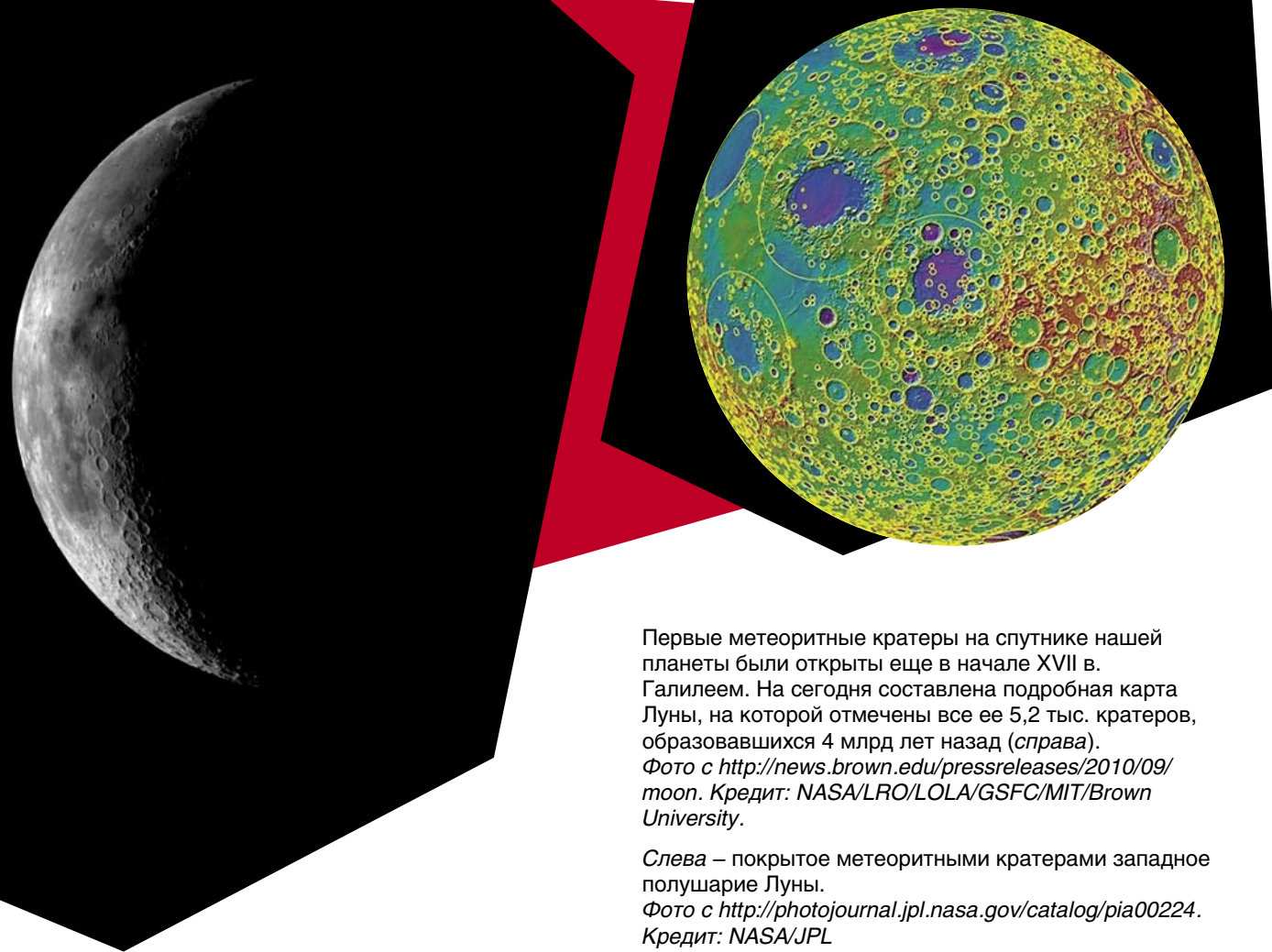
Кредит: НАСА/Johns Hopkins University/APL/Carnegie Institution for Science

Внизу – древний марсианский кратер Гэйл (154 км в диаметре) вблизи экватора в восточном полушарии Марса.

Фото КА «Марс Одиссей Орбитер», 2001 г.

(<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA14290>) Кредит: НАСА/JPL-Caltech/Arizona State University





Первые метеоритные кратеры на спутнике нашей планеты были открыты еще в начале XVII в. Галилеем. На сегодня составлена подробная карта Луны, на которой отмечены все ее 5,2 тыс. кратеров, образовавшихся 4 млрд лет назад (справа). Фото с <http://news.brown.edu/pressreleases/2010/09/moon>. Кредит: NASA/LRO/LOLA/GSFC/MIT/Brown University.

Слева – покрытое метеоритными кратерами западное полушарие Луны. Фото с <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/pia00224>. Кредит: NASA/JPL

Если регистрировать все космические объекты размером 10^{-6} см, падающие ежедневно в земную атмосферу, то их число составит 70 млн! Но только частицы более 10^{-2} см способны вызвать явление метеора, т. е. оставить в атмосфере светящийся след, который можно наблюдать визуально либо фотографическим или радиолокационным методами. А тела с массой более 1 кг уже порождают явление болида, который может завершиться взрывом и выпадением осколков. Среди падающего на Землю метеоритного вещества около 92 % составляют каменные метеориты, 6 % – железные и 2 % – железокаменные.

Нужно упомянуть, что атмосфера является мощным газовым фильтром, предохраняющим земную поверхность от интенсивного потока падающих мелких тел. Возможность образования ударного кратера на поверхности Земли зависит от массы, размера, состава вещества и физического состояния достигающего ее космического тела. В целом установлена следующая закономерность: чем больше размер метеороидных тел, тем меньше в среднем частота их падений. Например, вероятность падения метеороида, подобного Челябин-

скому, оценивается как одно событие в 100 лет, а Тунгусского – уже в 1 тыс. лет. В ранний же период истории Земли эти вероятности были значительно более высокими.

Наибольшую опасность представляют столкновения Земли с крупными телами, такими как астероиды и ядра комет размером более 1 км, которые способны вызвать катастрофу с масштабом от регионального до глобального. По данным Центра малых планет Международного астрономического союза (IAU), на сегодняшний день обнаружено свыше 7 тыс. астероидов, сближающихся с Землей (они входят в группы Атонцев, Аполлонцев и Амурцев), из которых около 900 имеют диаметр более 1 км.

Положения этих астероидов могут быть рассчитаны на любой момент времени, однако их орбиты подвержены периодическим изменениям под влиянием гравитационных возмущений со стороны планет земной группы и поэтому нуждаются в постоянном уточнении.

Еще большим изменениям подвержены вытянутые орбиты периодических комет, появление же новых комет вообще непредсказуемо. Если говорить о телах

типа Челябинского метеорита, то их число в околоземном пространстве оценивается в 100 млн. В то же время технические возможности слежения за космическими «гостями» пока достаточно ограничены: за несколько суток до сближения с Землей можно обнаружить только тела размером не меньше 50 м, и то лишь в случае их достаточно высокой отражающей способности в солнечном свете.

Разрушительные последствия падения Челябинского метеорита вывели «астероидно-кометную опасность» из теоретических в число очевидных и насущных проблем, требующих практического решения. Речь идет о создании системы для своевременного обнаружения приближающихся к Земле космических тел размером свыше 10 м и осуществления мер по их уничтожению или отклонению с опасной траектории.

Кратеры земные и «небесные»

Можно предположить, что когда Галилео Галилей впервые в 1609 г. навел на Луну телескоп, то увидел множество кольцевых структур непонятной природы, хотя в своем сочинении «Звездный вестник» (1610) среди открытий, сделанных им с помощью телескопа, он упоминает только лунные горы. Понять происхождения лунных кратеров удалось лишь спустя три с половиной столетия.

Примечательно, что Парижская академия наук официально признала космический источник падающих с неба камней только в начале XIX в., хотя доказательства этого факта были получены и опубликованы некоторыми учеными (например, немецким физиком Э. Хладни и членом Лондонского королевского общества Э. Кингом) значительно раньше. После этого постепенно начало приходить понимание тех последствий, которые могут иметь падения метеоритов и более крупных тел на Землю, Луну и другие планеты. Что же касается лунных кратеров, то обсуждение их природы (вулканической или ударной) не прекращалось до середины XX в. Исследования лунной поверхности с помощью советских и американских космических аппаратов, а также пилотируемых экспедиций по программе «Аполлон» показали, что абсолютное большинство лунных кратеров являются ударными.

Нужно заметить, что термин «ударный» в данном случае не совсем точен. На поверхности безатмосферных небесных тел, таких как Луна, почти все спутники планет и астероиды, кратеры образуются при падениях тел, движущихся с космическими скоростями. В этом случае в момент «контакта» падающего тела с более протяженным объектом происходит не механический удар, а взрыв, который приводит к испарению, плавлению, переработке и выбросу из эпицентра взрыва значительного количества вещества как «мишени», так

и самого «ударника». С помощью экспериментального и теоретического моделирования было установлено, что величина этих выбросов определяется рядом параметров сталкивающихся тел: физических (скорость, масса, прочность и др.), физико-химических (состав вещества и его фазовое состояние) и геометрических (угол столкновения, размеры тел).

Несколько иначе происходит образование кратеров на планетах, имеющих атмосферу. Торможение крупного падающего тела в атмосфере приводит к частичной или полной потере и преобразованию его кинетической энергии в другие формы (ударную волну в газе и в самом теле, тепловое и световое излучение и т. п.) еще до его столкновения с поверхностью планеты. Поэтому на земной поверхности кратеры образуются только при падениях достаточно прочных (например, металлических) или больших тел, для которых атмосфера не является значительным препятствием. На поверхности Марса, имеющего примерно в сто раз более разреженную атмосферу, чем Земля, кратеры образуются при ударах значительно меньших по размеру и менее прочных тел.

Признание реальности потока падающих на Землю космических тел в начале XIX в. привело к целенаправленному поиску ударных образований на всех континентах. Но изучение первых найденных ударных кратеров – так называемых *астроблем*, было сложным делом, а его результаты – противоречивыми. Этим занимались, в первую очередь, геологи, поскольку именно они могли обнаружить необычные минералогические, геохимические и другие особенности этих образований на фоне земных горных пород.

На протяжении почти ста лет, начиная с 1827 г., предпринимались попытки выяснить происхождение группы из девяти кратеров Каали на о. Сааремаа (Эстония), самый крупный из которых имеет диаметр 110 м и глубину 22 м. Только в 1937 г. инженер-геологу И. Рейнвальду удалось доказать их метеоритную природу благодаря обнаружению в двух кратерах осколков метеоритного железа.

Такой же драматической стала и история изучения Аризонского кратера. До начала XX в. считалось, что он является вулканическим. Однако в 1902 г. американский горный инженер Д. Бэрринджер, основываясь на многочисленных находках небольших фрагментов метеоритного железа на дне и за пределами вала кратера, предположил, что он имеет метеоритное происхождение. Бэрринджер потратил 26 последних лет своей жизни, безуспешно пытаясь найти крупный фрагмент этого метеорита на дне кратера с целью добычи никеля.

Лишь в 1940–1950-х гг., когда при геологической разведке и оценке других природных ресурсов стали широко применять аэрофотосъемку, выяснилось, что на поверхности земного шара имеется много округлых



Этот астероид 243 Ида (58 км длиной), как и все другие астероиды, хранит на своей поверхности следы всех процессов, происходивших в Солнечной системе, прежде всего – ударных.
Фото КА «Галилео» (НАСА), 1993 г.
(<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA00135.jpg>).
Кредит: NASA/JPL-Caltech

геологических структур необычного строения. Их всестороннее исследование показало, что они представляют собой астроблемы – следы ударов космических тел.

В наши дни изучение крупномасштабной структуры известных и поиск новых астроблем проводится с помощью спектральной космической съемки. Общее число известных астроблем диаметром от 10 м до 340 км – около 200 (35 из них находятся на территории бывшего СССР). Их возраст имеет широкий диапазон: от 2,5 млрд лет до наших дней. Причем небольшие кратеры с размерами от десятков до сотен метров (их доля составляет около 15 %) не старше 1 млн лет.

«Дети» астероидов

Широкомасштабные исследования Солнечной системы с помощью космических аппаратов, начатые во второй половине XX в., показали, что ударными кратерами покрыты не только Земля и Луна. Ударные структуры были обнаружены на всех известных твердых телах Солнечной системы. Их много на Марсе и безатмосферном Меркурии, они видны на всех космических снимках астероидов Главного пояса, расположенного между орбитами Марса и Юпитера, а также спутников планет.

Астероиды – небесные тела с размерами примерно от 50 м до нескольких сотен километров. С момента своего образования они остались почти в неизменном виде по сравнению с планетами и их спутниками, вещество

которых было существенно модифицировано под действием магматического плавления, дифференциации и других факторов. Поэтому именно астероиды хранят на своей поверхности следы всех процессов, происходивших в Солнечной системе, и прежде всего – ударных. Важными источниками такой «исторической» информации являются разные свойства астероидов: форма тела, строение поверхности, отражательная способность, вращение, размеры, масса, средняя плотность, параметры орбиты и т. д. Обобщение такой информации для большого количества тел позволяет изучить ранний этап формирования нашей планетной системы.

Следует заметить, что практически у всех астероидов неправильная форма сочетается с сильно кратерированной поверхностью. Прежде всего это означает, что такие астероиды являются фрагментами более крупных тел. Дробление этих родительских тел произошло, вероятно, при их взаимных столкновениях, вызванных, как это следует из современных динамических численных моделей, проникновением в Главный пояс астероидов крупных, движущихся с высокими скоростями протопланетных тел из зон формирования Юпитера и других планет земной группы.

С другой стороны, высокая кратерированность поверхности астероидов свидетельствует, что и после их образования интенсивный поток падающих на них тел не прекращался. Только самые крупные астероиды, такие как 1 Церера, который сейчас считается карликовой планетой, 2 Паллада и 4 Веста, по-видимому, избежали катастрофического разрушения и представляют собой «выжившие» родительские тела.



К настоящему времени такие ударные структуры, как метеоритные кратеры, были обнаружены на всех известных твердых телах Солнечной системы, и не только на планетах, но и на их спутниках.

Вверху – один из ближайших крупных спутников Сатурна – Мимас (208 × 197 × 191 км), поверхность которого испещрена метеоритными кратерами.
Фото КА «Кассини-Гюйгенс» (ЕКА-НАСА), 2010 г. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA12570.jpg>).
Кредит: NASA/JPL/Space Science Institute.

Внизу – метеоритные кратеры на поверхности Каллисто – второго по величине спутника Юпитера, открытого еще Галилеем.
Фото КА «Галилео», 1998 г. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA01629.jpg>). Кредит: NASA/JPL-Caltech

Измерения массы и точных размеров некоторых астероидов, сделанные с помощью сблизившихся с ними космических аппаратов, позволили оценить их среднюю плотность. Оказалось, что она заметно ниже типичной плотности слагающих их минералов и горных пород по сравнению с земными образцами-аналогами, что указывает на высокую пористость астероидов либо наличие в них внутренних пустот. Очевидно, что все перечисленные особенности астероидов – следствие их катастрофического происхождения и ударной эволюции.

Сейчас уже доказано, что метеориты являются в основном осколками астероидов. Скорость остывания метеоритного вещества определена по свойствам так называемых «видманштеттеновых фигур», возникающих при кристаллизации железоникелевого расплава в железных метеоритах и в мелких железных частицах в каменных метеоритах. Оказалось, что эта скорость соответствует темпам охлаждения недр тел с размерами от нескольких десятков до нескольких сотен километров, что совпадает с размерами астероидов. Основные типы метеоритов (каменные, включающие хондриты и ахондриты, железокремнистые и железные) по оптическим характеристикам соответствуют таксономическим (спектральным) типам астероидов.

Более того, обнаружены группы метеоритов, свойства которых практически совпадают с наблюдаемыми характеристиками конкретных небесных тел. Например, есть «лунные» метеориты, которые близки или идентичны доставленным на Землю лунным образцам. Найдены также «марсианские метеориты», а также метеориты, состоящие из вулканических горных пород, по свойствам соответствующих веществу астероида Веста.

Обнаружение таких метеоритных групп показывает, что при сильных ударах отдельные осколки планетных тел могут выбрасываться в космическое пространство и в итоге достигать земной поверхности. По существу, это механизм ударного обмена планетами веществом. Следует заметить, что практически без повреждений достигают земной поверхности мельчайшие метеоритные частицы размером $\sim 10^{-3}$ см и менее. По причине значительной величины отношения площади поверхности к объему у таких частиц, они эффективно тормозятся и охлаждаются в самых верхних слоях земной атмосферы. После чего происходит их свободное падение на земную поверхность.

По различным свойствам метеоритов (минералогическим, геохимическим, петрологическим, изотопным и др.) можно установить и проследить последовательность физико-химических процессов в их родительских телах.

Космические поставки

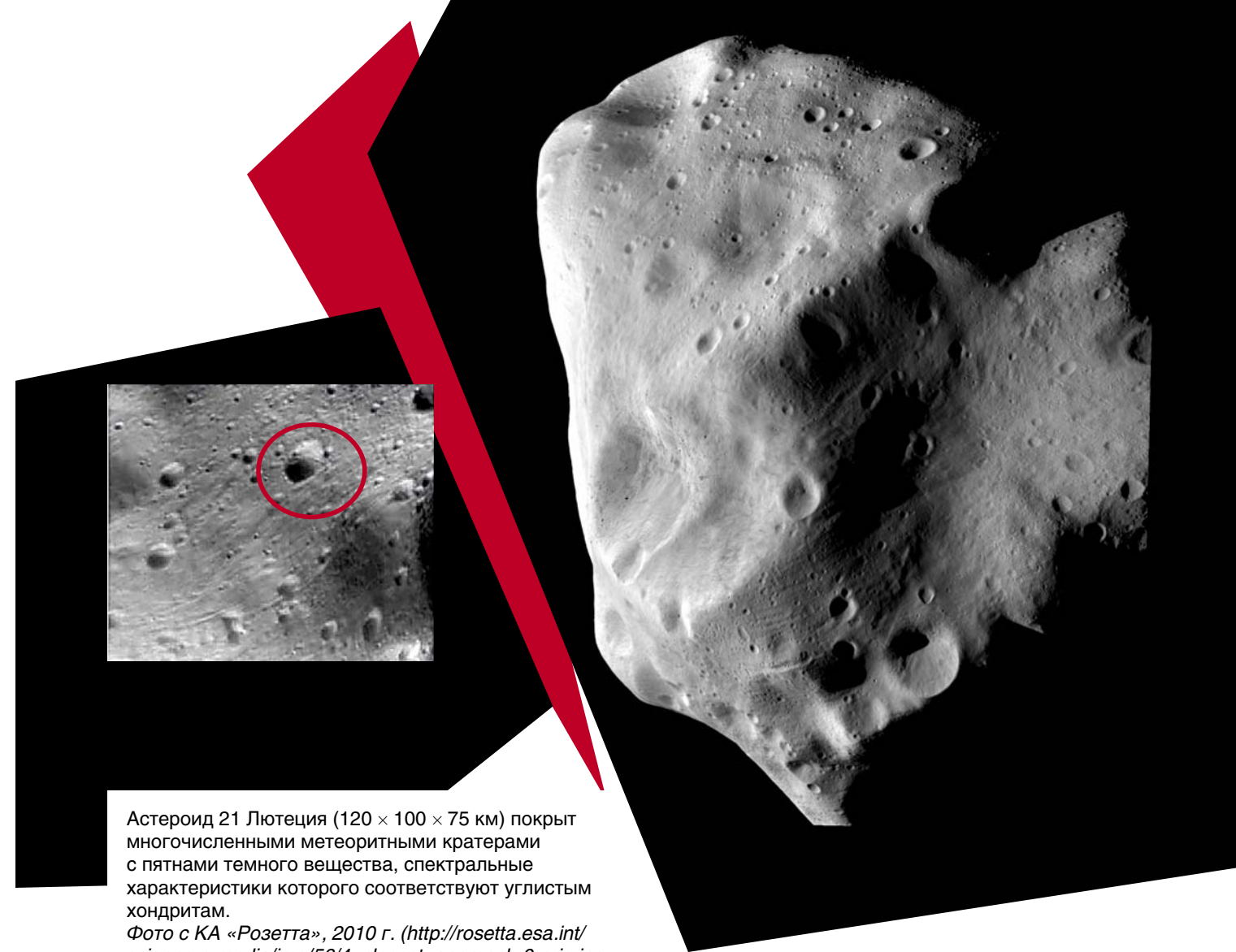
Столкновения небесных тел не всегда вызывают их катастрофические разрушения. Как следует из космогонических моделей, начальный период Солнечной системы был «конструктивным»: в результате низкоскоростных столкновений (по сути, слияний) многочисленных мелких тел образовались так называемые *планетезимали* – тела с широким диапазоном размеров. Когда эти объекты достигали нескольких километров в диаметре, они объединялись друг с другом в результате гравитационного притяжения. Благодаря такому процессу *аккреции* и шел рост протопланет. Вследствие накопления тепловой энергии при аккреции и распаде короткоживущих изотопов в достаточно больших (от 200 км и более) планетных зародышах началась первичная тепловая эволюция – плавление и дифференциация вещества.

Таким же «конструктивным» можно считать и процесс переноса вещества при столкновениях тел разного состава. Дело в том, что те же каменно-ледяные планетезимали могли образоваться в Солнечной системе за так называемой «границей конденсации водяного льда», т.е. на таком удалении от Солнца, где эти тела никогда не нагревались выше 0°C и где было возможно образование льда, преимущественно водяного. Кстати сказать, именно наличие большого количества ледяных планетезималей обеспечило быстрое формирование зародышей прото-Юпитера и других планет-гигантов.

Как следует из модели эволюции Солнечной системы, разработанной известными космогонистами О.Ю. Шмидтом и В.С. Сафроновым, температура прото-Земли и других планет земной группы в период их формирования была весьма высока. Это подтверждается многочисленными геохимическими и минералогическими исследованиями состава древнейших горных пород.

При магматической эволюции и дифференциации Земля должна была потерять практически всю «летучую» часть своего состава, если полагать, что исходным материалом было вещество типа хондритов или углистых хондритов. Еще одно катастрофическое событие, которое могло привести к полной потере Землей летучих компонентов, – это ударное формирование Луны из тела Земли в результате столкновения с ней гигантского протопланетного тела размером с Марс. И совпадение изотопных соотношений в земном и лунном веществе указывает на справедливость именно этого варианта происхождения Луны.

Логическим следствием перечисленных теорий стала гипотеза, согласно которой ныне существующие атмосфера и гидросфера Земли образовались из вещества



Астероид 21 Лютеция (120 × 100 × 75 км) покрыт многочисленными метеоритными кратерами с пятнами темного вещества, спектральные характеристики которого соответствуют углистым хондритам.
Фото с КА «Розетта», 2010 г. (http://rosetta.esa.int/science-e-media/img/56/4_closest_approach-0-orig.jpg и <http://www.esa.int/ima>). Кредит: ESA

«ЗЕРНИСТЫЕ» МЕТЕОРИТЫ

Высокий интерес к недифференцированным каменным метеоритам – хондритам – объясняется тем, что они подверглись наименьшим тепловым изменениям при образовании. Название этих метеоритов связано с наличием в них множества небольших овальных образований (хондр, от древнегреч. «зерно») с размерами от 0,5 до нескольких миллиметров. Хондры состоят из оливина, пироксена, плагиоклаза и других высокотемпературных минералов с температурами кристаллизации 1500–2000 °C и окружены так называемой матрицей.

Хондриты подразделяются на обыкновенные и углистые (темного цвета). У обыкновенных хондритов матрица состоит примерно из тех же минералов, что и хондры. В то же время матрица углистых хондритов состоит в основном (до 90 вес. %) из низкотемпературных гидросиликатов типа серпентинов, хлоритов и других минералов с большим (до 1–22 вес. %) содержанием связанной воды. Имеется также особая группа углистых хондритов, состоящих из одной матрицы, вещество которых никогда не нагревалось выше 100–200 °C.

Углистые хондриты обладают рядом других необычных свойств. Так, их низкотемпературная матрица содержит до нескольких процентов углерода в форме сложных углеводородных соединений, вплоть до спиртов и аминокислот. Место и условия возникновения этих соединений пока точно не установлены, однако можно утверждать, что гидросиликаты в углистых хондритах образовались благодаря раннему внутреннему разогреву родительских тел метеоритов, т.е. астероидов, благодаря энергетическому источнику в виде ^{26}Al (с периодом полураспада 0,72 млн лет) и других короткоживущих изотопов. В ряде каменных метеоритов, включая известный Альенде, обнаруженный в 1969 г. в Мексике, был найден в значительном количестве дочерний изотоп ^{26}Al – ^{26}Mg



Крупные каменно-ледяные протопланетные тела, возникшие в зоне роста Юпитера, подверглись ранней тепловой эволюции благодаря распаду содержащегося в них ^{26}Al и последующей водной дифференциации. Они стали своего рода химическими реакторами, где сформировались гидросиликаты и сложные органические соединения

падающих на нее космических тел (астероидов, ядер комет, метеоритов и космической пыли) после остывания поверхности планеты. Однако, согласно расчетам, поток самых мелких объектов (пыли и метеоритов) за всю земную историю был недостаточен для доставки той воды, которая содержится в земных океанах.

Основной объем воды и других летучих соединений мог попасть на Землю только при падениях более крупных тел – астероидов и (или) ядер комет, содержащих воду в замерзшем или связанном состоянии. Тем более что статистический анализ возраста и размеров кратеров на Луне подтверждает высокую интенсивность потока падающих крупных тел в начальный период существования системы Земля-Луна, т. е. около 4 млрд лет назад. Кроме того, из результатов численного моделирования следует, что при падении достаточно крупного тела некоторая его часть избегает нагревания до высоких температур и попадает на земную поверхность в неповрежденном виде (о чем, в частности, свидетельствуют и найденные фрагменты вещества Челябинского метеорита). Парадоксально, но факт: астероиды и кометы, на протяжении всего существования земной жизни угрожавшие ей уничтожением, вероятно, создали условия для ее возникновения.

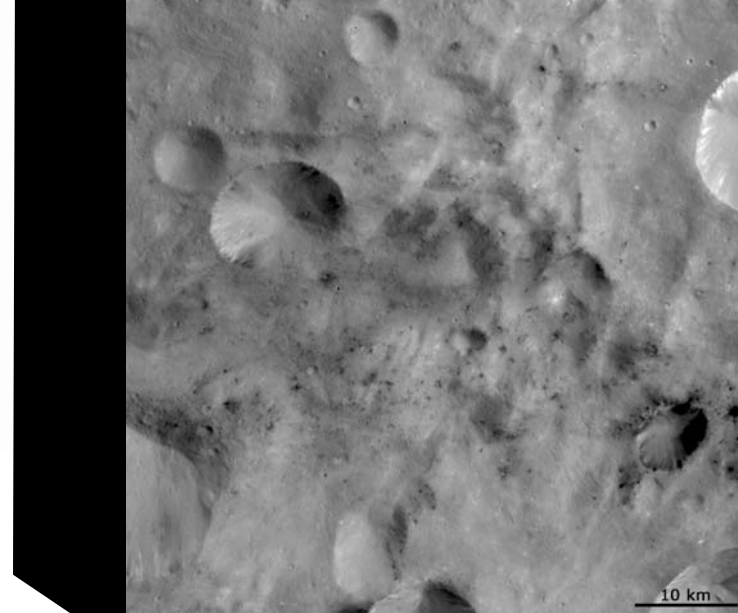
Благодаря падению ядер комет на земную поверхность могла попадать не только вода, но и весьма сложные органические соединения, возникшие в космосе под воздействием коротковолнового ультрафиолетового излучения и потоков частиц солнечного и космического происхождения.

Но и с самой водой на Земле не все так просто. Так, при изучении частиц межпланетной пыли было обнаружено, что изотопный состав кометной воды и океанической отличается. Это говорит, по крайней мере, о том, что «кометный» источник воды нельзя считать основным. В то же время изотопный состав «земной» воды и водных включений в углистых хондритах совпадает, что свидетельствует о том, что основная масса воды была доставлена на Землю именно этими небесными телами.

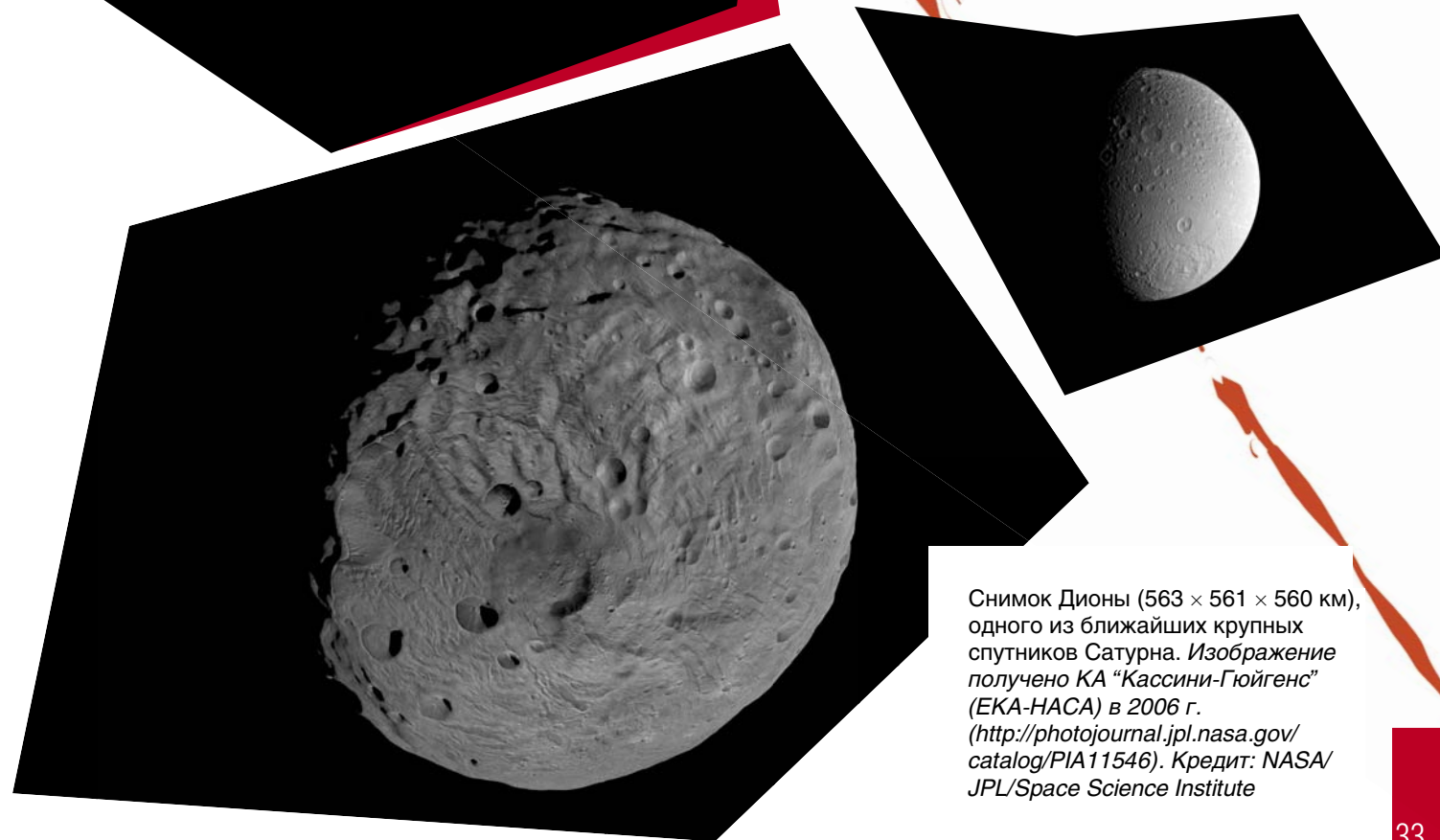
Этот вывод подтверждается следующими интересными результатами, полученными автором статьи. При спектральных наблюдениях астероидов типов «S», «M» и «V», которые, как и Земля, сформировались при высоких температурах, было обнаружено, что в состав большинства этих тел входят нетипичные для них гидросиликаты. Появление таких гидросиликатов можно также объяснить падением на астероиды примитивных тел углисто-хондритового состава.

Родословная астероидов

Необычные свойства углистых хондритов, сыгравшие такую важную роль в создании условий для возникновения жизни на Земле, обусловлены условиями их образования. Лабораторные спектры их отражения, характеризующие состав вещества, очень похожи на спектры отражения астероидов С-типа, на основании чего последние были признаны родительскими телами углистых хондритов. Согласно гипотезе автора, и углистые хондриты, и астероиды С-типа происходят



Судя по детальным изображениям астероида 4 Веста (диаметром около 530 км), полученным в 2011 г., он также покрыт многочисленными кратерами и небольшими участками с пятнами темного вещества, соответствующими по составу углистым хондритам. Фото с КА «Рассвет» (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA15083.jpg>) – слева. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/IA14712.jpg>) – внизу. Кредит: NASA/JPL-Caltech



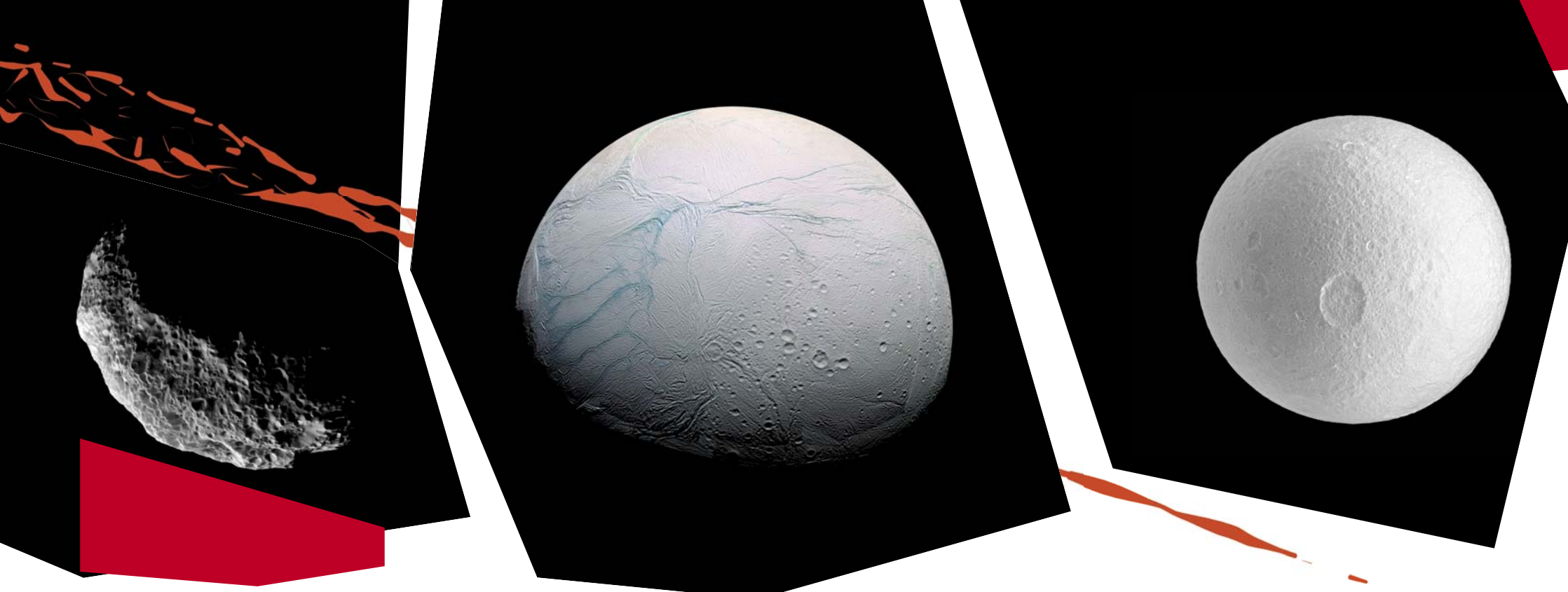
Снимок Дионы (563 × 561 × 560 км), одного из ближайших крупных спутников Сатурна. Изображение получено КА «Кассини-Гюйгенс» (ЕКА-НАСА) в 2006 г. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA11546>). Кредит: NASA/JPL/Space Science Institute

из одного источника – протопланетных тел из зоны формирования Юпитера.

Когда масса ядра Юпитера достигла нескольких масс Земли, процесс аккреции на него меньших по размеру протопланетных тел прекратился. Более того, эти тела стали выбрасываться далеко за пределы зоны формирования Юпитера, в том числе в находящийся по соседству Главный пояс астероидов (Сафронов, 1969). Поскольку, как уже говорилось, зона роста Юпитера располагалась за границей конденсации водяного

льда, все возникшие в ней протопланетные тела имели каменно-ледяной состав. Основываясь на составе вещества ядер комет и межпланетной пыли, можно предположить, что объемное содержание силикатов, льдов и органических соединений в них было примерно одинаковым.

В крупных (более 200 км) телах благодаря разогреву недр в результате распада ^{26}Al произошло плавление льда и образование внутреннего водного океана. Благодаря водной дифференциации в них сформировались



Типичная кратерированная поверхность Гипериона, одного из крупных (180×133×103 км) спутников Сатурна. Фото с КА «Кассини-Гюйгенс», 2010 г. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA12748>). Кредит: NASA/JPL/Space Science Institute

большие силикатно-органические ядра, радиус которых достигал 2/3 радиуса самих тел. И если температура свободной воды всегда была близка к 4 °С, то в ядрах она могла быть на порядок выше из-за более высокой относительной концентрации ²⁶Al. Эти ядра и стали, вероятно, своего рода химическими реакторами, где в течение 5–10 млн лет формировались гидросиликаты и сложные органические соединения, вплоть до того момента, когда ²⁶Al иссяк, а океан замерз.

Гравитационными возмущениями Юпитера протопланетные тела перебрасывались на вытянутые орбиты, которые не только пронизывали Главный пояс астероидов, но, по-видимому, достигали и планет земной группы. Из-за их большого (от 1–2 до 30 км/с) диапазона скоростей и эксцентриситетов орбит последствия их столкновений с родительскими телами астероидов были различны. Катастрофические столкновения при наибольших скоростях могли привести к выметанию из Главного пояса или полному дроблению абсолютного большинства таких тел. Но протопланетные тела, двигавшиеся с минимальными скоростями на незначительно вытянутых орбитах, после ряда неразрушающих столкновений, вероятно, так и остались в Главном поясе.

Важную роль должны были сыграть и различия в степени однородности и составе вещества каменно-

Темные пятна углистых хондритов, появление которых связано с ударными событиями, не обнаружены на некоторых небесных телах внешней части Солнечной системы. Например, их нет на Энцеладе (вверху) и заведомо древней кратерированной ледяной поверхности Тефии (справа), крупнейших (диаметром около 1060 и 505 км, соответственно) ближайших спутников Сатурна. Фото с КА «Кассини-Гюйгенс», 2009 г. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/peg/PIA08280.jpg>) (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA11624>) Кредит: NASA/JPL/Space Science Institute

ледяных тел из зоны Юпитера и родительских тел астероидов. Более высокая механическая прочность и однородность последних могла при столкновениях стать причиной дробления протопланетных тел.

Таким образом, наиболее многочисленный класс С-астероидов Главного пояса составили, очевидно, крупные фрагменты разрушившихся протопланетных тел из зоны роста Юпитера. Еще одна группа представляет собой родительские тела астероидов, покрытые толстым слоем вещества типа углистых хондритов – результат падения на них мелких осколков раздробленных протопланетных тел.

Этот сценарий происхождения С-астероидов и углистых хондритов согласуется с идеей известного американского исследователя Г. Юри (1952 г.) относительно происхождения хондр в хондритах. По его мнению, хондры представляют собой капли расплавленного силикатного вещества, выброшенные в космическое

пространство при столкновениях тел астероидных размеров, которые затвердели до своего падения на поверхность ближайших небесных тел.

Можно предположить, что углистые хондриты разных групп образовались при различной глубине ударной переработки исходного вещества: в этих группах последовательно уменьшается содержание связанной воды в форме гидросиликатов и нарастает относительное содержание хондр. Важно подчеркнуть, что так могли образоваться не только углистые, но и обыкновенные хондриты.

Судя по детальным изображениям астероида Веста, полученным в 2011 г. с помощью космического аппарата «Рассвет» (НАСА), он покрыт многочисленными кратерами с пятнами темного вещества, спектральные характеристики которого соответствуют углистым хондритам. Ранее с помощью космического корабля «Розетта» (ЕКА) была получена схожая информация относительно высокотемпературного астероида Лютеция.

Особенности расположения кратеров и связанных с ними выбросов вещества позволяют выдвинуть предположение, что в результате ударных событий, приведших к образованию кратеров на Весте и Лютеции, были вскрыты подповерхностные залежи древнего темного материала углисто-хондритового состава. Эти открытия являются прямым подтверждением существования интенсивного потока примитивных тел, направленного к внутренним планетам, в том числе на Землю, начало которого относится к периоду формирования Солнечной системы.

В то же время пятна такого темного материала, происхождение которого можно связать с ударными событиями, не обнаружены на некоторых небесных телах внешней части Солнечной системы. Например, вызывает удивление однородность светлой кратерированной (и, значит, древней) ледяной поверхности таких спутников Сатурна, как Энцелад и Тефия. Это – одна из загадок, которую еще предстоит разрешить.

Падение Челябинского метеорита стало для всех живущих на Земле очередным грозным напоминанием о существующей астероидно-кометной опасности, которая идет из космоса. В результате действия ударной волны, возникшей при взрыве метеороида, пострадало свыше тысячи человек – такое случилось впервые в истории цивилизованного человечества. И надо отдавать себе отчет в том, что по мере роста численности и плотности человеческой популяции такая угроза для населения Земли будет только возрастать.

Изучение метеоритов и ударных кратеров на земной поверхности позволило не только установить истинные причины подобных событий, но и выйти далеко за рамки земного мира. Эпоха космических полетов, начавшаяся в середине XX в., дала возможность увидеть поверхности других планетных тел и даже мысленно «заглянуть» в их недра. Сравнительное изучение разных небесных тел позволило построить теорию эволюции Солнечной системы, начиная с момента ее возникновения. И человечеству придется признать, что потенциально опасный для него поток космических объектов на Землю связан с вечным и неизбежным процессом – формированием и разрушением при столкновениях небесных тел.

Литература

- Бронштэн В.А. *Физика метеорных явлений*. М.: Наука, 1981.
- Бусарев В.В. *Спектрофотометрия астероидов и ее приложения* / LAP LAMBERT Acad. Publish. GmbH & Co. KG, Саарбрюккен, 2011.
- Додд Р. Т. *Метеориты: Петрология и геохимия*. М.: Мир, 1986.
- Иванов Б.А. *Распределение ударных кратеров и астероидов по размерам // Катастрофические воздействия космических тел* / Ред. Адушкин В.В., Немчинов И.В. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. С. 118–150.
- Мелюш Г. *Образование ударных кратеров: геологический процесс*. М.: Мир, 1994.
- Сафронов В.С. *Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет*. М.: Наука, 1969.

ОТЗВУКИ ЧЕЛЯБИНСКОГО БОЛИДА

С. А. ЯЗЕВ

15 февраля 2013 г. в небе над Южным Уралом наблюдалось необычайное небесное явление. Благодаря снимкам, сделанным многочисленными очевидцами, средствам массовой информации и Интернету, оно стало сенсацией не только для россиян, но и для всего мирового сообщества



ЯЗЕВ Сергей Артурович – доктор физико-математических наук, директор астрономической обсерватории и проректор Иркутского государственного университета, старший научный сотрудник Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск). Заместитель сопредседателя правления Международной организации «Астрономическое общество». Автор и соавтор более 170 научных работ и учебных пособий, в том числе 3 монографий, и 5 научно-популярных книг

Фото М. Ахметвалеева

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ АЗБУКА

МЕТЕОРОИД – небольшое небесное тело размером меньше астероида, но значительно больше атома, движущееся в межпланетном пространстве.

МЕТЕОРИТ – метеороид, упавший на поверхность планеты.

МЕТЕОР – светящийся след метеороида, движущегося с огромной скоростью в атмосфере Земли.

БОЛИД – предельно яркий и заметный метеор

© С. А. Язев, 2013

Яркий болид появился над Южным Уралом в 9.20 по местному времени. Огненный хвостатый шар прочертил голубое утреннее небо с юго-востока на северо-запад под небольшим (около 16°) углом к горизонту, оставив мощный дымно-пылевой след. Свечение болида, усиливаясь, перешло в ослепительное сияние, сопоставимое с яркостью Солнца, и завершилось яркой вспышкой.

Впервые в современной истории человечества такое редкое небесное явление было подробно зафиксировано при помощи множества автомобильных видеорегистраторов одновременно с многих точек наблюдения, разнесенных в пространстве. Это позволило детально восстановить процессы, происходившие во время падения, сравнивая их с теоретическими прогнозами.

По данным Астрономического института Академии наук Чехии, небесное тело вошло в атмосферу на высоте 91 км. Начальная скорость метеороида на входе в атмосферу, по оценке чешских исследователей и специалистов NASA, составила около 17,5–18 км/с.

Спустя 9 с на высоте 41 км тело начало разрушаться: согласно расчетам, давление набегающего потока воздуха к этому моменту достигло около 40 атм. Двумя секундами позже на высоте 23 км произошла самая яркая вспышка.

Ключевые слова:

астероидно-кометная опасность, болиды, Челябинский метеорит.

Key words:

asteroid cometary danger, bolides, the Chelyabinsk meteorite



Челябинский метеороид вошел в атмосферу Земли на высоте 91 км над оз. Большие Донки (Курганская обл.). Болид наблюдался на огромной территории, включая Тюменскую, Челябинскую и Свердловскую области, Северный Казахстан и Башкортостан.

На высоте 41 км над с. Белоусово около оз. Большой Шантрапай (Еткульский р-н Челябинской обл.) тело начало разрушаться. Взрыв болида произошел на высоте 23 км приблизительно в 40 км к юго-востоку от центра г. Челябинск. Ближе всего к эпицентру взрыва оказался пос. Первомайский.

Всего же длина проекции траектории падения Челябинского метеороида превысила 300 км. Остатки его упали в оз. Чебаркуль (около г. Златоуст)

*На фото – остаточный след болида на восходе Солнца. Хорошо видно раздвоение дымного следа Челябинского болида – признак дробления метеороида во время его полета в атмосфере
Фото М. Ахметвалеева*

Болид наблюдался на огромной территории, включая Тюменскую, Челябинскую и Свердловскую области, Северный Казахстан и Башкортостан. Это небесное явление оказалось исключительно мощным. На основе измерений порожденного болидом инфразвука, выполненных сетью наземных станций, специалисты NASA по свежим следам опубликовали результаты модельных расчетов. Общее количество энергии, выделившееся при разрушении метеороида, было оценено в 300–500 тыс. т в тротиловом эквиваленте, начальная масса – в 10 тыс. т, а размеры – до 17 м.

От Витимского до Челябинского

Механизм разрушения небесных тел в атмосфере очень сложный и неодномоментный. Из-за гигантского давления набегающего потока и высоких температур каменное тело уже на больших высотах начинает трескаться, лопаться, дробиться и разрушаться. На оп-

ределенной высоте возникающие термонапряжения начинают превышать предел прочности летящих осколков – происходит так называемый концевой тепловой взрыв метеороида. В итоге осколки дробятся до размеров щебня и даже крупного песка, большая часть которых взрывообразно испаряется в раскаленном газовом (плазменном) облаке, окружающем рой летящих фрагментов. Обычно это происходит на высотах около 30 км. И действительно, в нашем случае наиболее яркая вспышка наблюдалась южнее Челябинска на высоте 32 км.

Часть фрагментов во время взрыва меняет свою траекторию; некоторым, отделившимся чуть раньше, удастся эффективно погасить скорость из-за трения о воздух и не развалиться в пыль. В итоге в рое летящих осколков помимо мельчайших частичек, пылинок и песчинок могут находиться мелкие камни и даже фрагменты покрупнее, которые разлетаются веером. Наиболее крупные осколки по инерции улетают дальше всего, «мелочь» быстро теряет скорость и выпадает раньше.



Имеются косвенные свидетельства, что сравнительно крупный (массой в десятки кг) фрагмент Челябинского болида упал, пробив лед, в оз. Чебаркуль. Отдельные мелкие осколки метеорита массой от долей грамма до 1,8 кг удалось обнаружить в снегу вблизи траектории падения.

Полет в атмосфере крупного тела с космической скоростью порождает мощную ударную волну. Возникшая при взрыве Челябинского метеорита ударная волна, пришедшая с большой высоты спустя несколько минут после вспышки, повредила оконные рамы и легкие строительные конструкции, выбила стекла общей площадью 200 тыс. м². Всего было повреждено около 7300 зданий, а осколками стекла были травмированы (некоторые – тяжело) свыше 1100 человек. В результате Челябинску был нанесен миллиардный ущерб.

Нужно сказать, что над территорией России, составляющей всего лишь 3% от общей площади поверхности земного шара, с начала XXI в. наблюдалось еще три подобных небесных явления. Так, в ночь на 25 сентября 2002 г. в небе на севере Иркутской области засиял знаменитый Витимский болид, мощность которого

оценена в 2,5 тыс. т в тротиловом эквиваленте. Размер этого разрушившегося в пыль каменного метеороида составлял примерно 3 м при массе около 50 т. Ударная волна, пришедшая с высоты 32 км, поломала верхушки деревьев и привела к частичному вывалу леса вдоль траектории его падения.

Яркий болид, сопровождавшийся мощными акустическими и световыми явлениями, был отмечен и в Республике Коми 17 октября 2009 г. Наконец, 1 марта 2011 г. в Осинском районе Иркутской области наблюдался мощный болид, сопровождавшийся ударной волной и инверсионным следом, который был сфотографирован на мобильный телефон.

К счастью, все эти три метеорита упали вдали от густонаселенных районов. Челябинский суперболид – первый и, к счастью, пока единственный случай в новейшей истории, когда сравнительно крупное небесное тело упало вблизи миллионного города, вызвав достаточно тяжелые последствия. Тот факт, что в этом случае обошлось без человеческих жертв, можно считать фантастическим везением.



Российско-украинский телескоп «Цейсс-2000», установленный в Приэльбрусье на пике Терскол (Терскольский филиал Института астрономии РАН, Москва), может отслеживать уже известные астероиды. Однако не очень большое поле зрения этого превосходного инструмента делает его недостаточно эффективным для поиска новых объектов. *Фото автора*

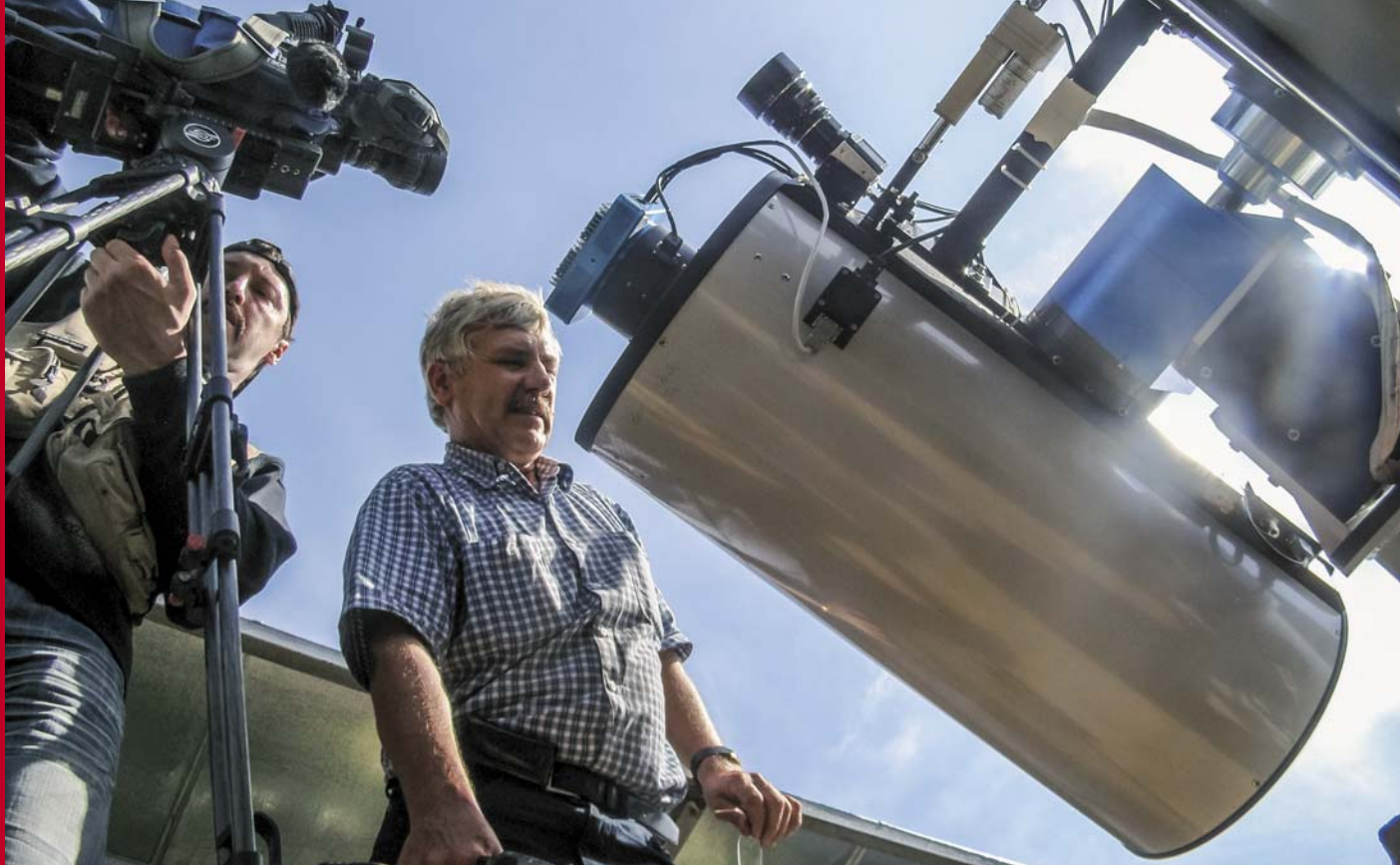
Почему не предупредили?

Сразу после падения Челябинского метеорита все российское информационное пространство наполнилось возмущенными репликами: почему не предупредили? Где были МЧС, системы ПВО и ПРО?

Действительно, приближение к Земле этого небесного «посланника» не было предсказано и замечено ни одной из существующих систем наблюдения и явилось для всех полной неожиданностью. Но возможно ли в принципе заранее обнаружить следующий к Земле небольшой астероид?

На сегодняшний день в мире ведутся работы примерно по двадцати программам наблюдений, согласно которым «свежие» изображения участка звездного неба постоянно сопоставляются с уже существующими звездными картами, заложенными в память компьютера. В результате обнаруживаются новые, ранее отсутствовавшие в базах данных объекты.

В списке активно работающих систем наблюдения в первую очередь нужно отметить американские Spacewatch-1, 2, LINEAR, LONEOS, NEAT, Catalina Sky Survey (CSS), Siding Sky Survey (SSS), Mount Lemmon Survey (MSS) и AMOS. Свой, пусть и сравнительно небольшой, вклад вносят канадская система Victoria, шведско-германская UDAS, итальяно-германская ADAS, чешские KLENOT и KLET, китайская система на базе Пекинской обсерватории, украинская – на базе обсерватории в г. Симеиз. И, наконец, российская система на базе обсерватории Института астрономии РАН (г. Звенигород), а также сеть телескопов МАСТЕР (Мобильная автоматизированная система телескопов-



Этот сдвоенный телескоп «МАСТЕР-2», установленный на астрофизическом полигоне Иркутского государственного университета в Тункинской долине, – одна из установок первой в России полностью автоматизированной системы наблюдения за небесными объектами.
Фото автора

МАСТЕР ЗА РАБОТОЙ

Телескопы сети МАСТЕР уже установлены в Подмосковье, под Екатеринбургом, в Тункинской долине (Бурятия), в Благовещенске и Кисловодске. Кроме того, планируется разместить их на Канарских островах и в Антарктиде. Основная задача сети – вести наблюдения оптического свечения космических гамма-всплесков, исходящих от удаленных внегалактических объектов. Однако в поле зрения сдвоенных 40-сантиметровых телескопов сети попадают и другие космические объекты, включая астероиды.

Так, автоматическая установка «МАСТЕР-2», развернутая на бурятском полигоне Иркутского государственного университета, выполнила 27 наблюдений 11 астероидов, сближающихся с Землей, что позволило уточнить параметры их движения. С помощью сети МАСТЕР было открыто два новых астероида в 2011 г., и еще два – в 2012 г. (правда эти объекты находятся в Главном поясе астероидов и не сближаются с Землей).

Парадоксально, но свои немалые возможности МАСТЕР продемонстрировала именно 15 февраля 2013 г., в день Челябинского болида. В этот день ожидалось прохождение в 26 900 км от Земли астероида 2012 DA14, открытого годом раньше. Телескоп «МАСТЕР-2 – Амур» (г. Благовещенск) в течение нескольких часов отслеживал движение астероида на фоне звездного неба, при этом были сделаны его фотографии высокого качества

Комбинированное изображение движущегося астероида 2012DA14 сделано на основе серии снимков, полученных на телескопе «МАСТЕР-2», установленном в Благовещенске

роботов), созданная по инициативе Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ им. М. В. Ломоносова. В этом списке фигурируют преимущественно не очень большие телескопы с диаметрами зеркал 0,5–1,8 м.

В результате совместных наблюдений уже обнаружено около 10 тыс. астероидов, сближающихся с Землей, и их число увеличивается на один-три объекта в сутки. При этом число известных крупных (размерами в сотни метров и первые километры) объектов нарастает гораздо медленнее. Это означает, что большинство таких астероидов уже открыто, что и неудивительно: крупные астероиды заметны и обнаруживаются за многие месяцы и даже годы до сближения с нашей планетой. Но что касается малых астероидов, то обнаружить их далеко не так просто.

Во-первых, в большинстве своем чувствительность действующих систем с малым (до 1 м) диаметром оптики не очень высока, поэтому астероиды с размерами в первые метры обнаруживаются не ранее чем за несколько суток или даже часов до их сближения с Землей. Пока что за всю историю наблюдений удалось лишь один раз точно предсказать падение на земную поверхность такого космического тела: речь идет о небольшом метеороиде, который был обнаружен менее



Астероид 2012 DA14 успешно наблюдался и на телескопе АЗТ ЗЗИК Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск). Этот единственный в России инфракрасный телескоп с диаметром главного зеркала 1,7 м и фокусным расстоянием 30 м рассчитан на измерение отражательно-излучательных характеристик космических объектов в околоземном пространстве в диапазоне 0,3–25 мкм, в том числе в дневных условиях.
 Фото В. Короткоручко



чем за сутки до его разрушения над пустыней в Судане 7 октября 2008 г.

Во-вторых, эффективность всех этих систем наблюдения далека от абсолютной, и Челябинский болид является тому свидетельством. Нет сомнений, что многие космические объекты, пролетающие вблизи Земли, мы просто не замечаем. Если такой объект приближается со стороны Солнца, обнаружить его на дневном небе с помощью оптического наземного телескопа просто невозможно. Кроме того, поле зрения типичного телескопа, как правило, очень мало, и чтобы осмотреть все сегменты неба требуется множество ясных ночей. В любом другом случае «засечь» приближающийся астероид заранее окажется невозможным. Для решения этой задачи требуется иметь как большое количество небольших телескопов, одновременно смотрящих в разные сегменты неба, так и крупные телескопы с диаметром оптики около 8–10 м и большим полем зрения.

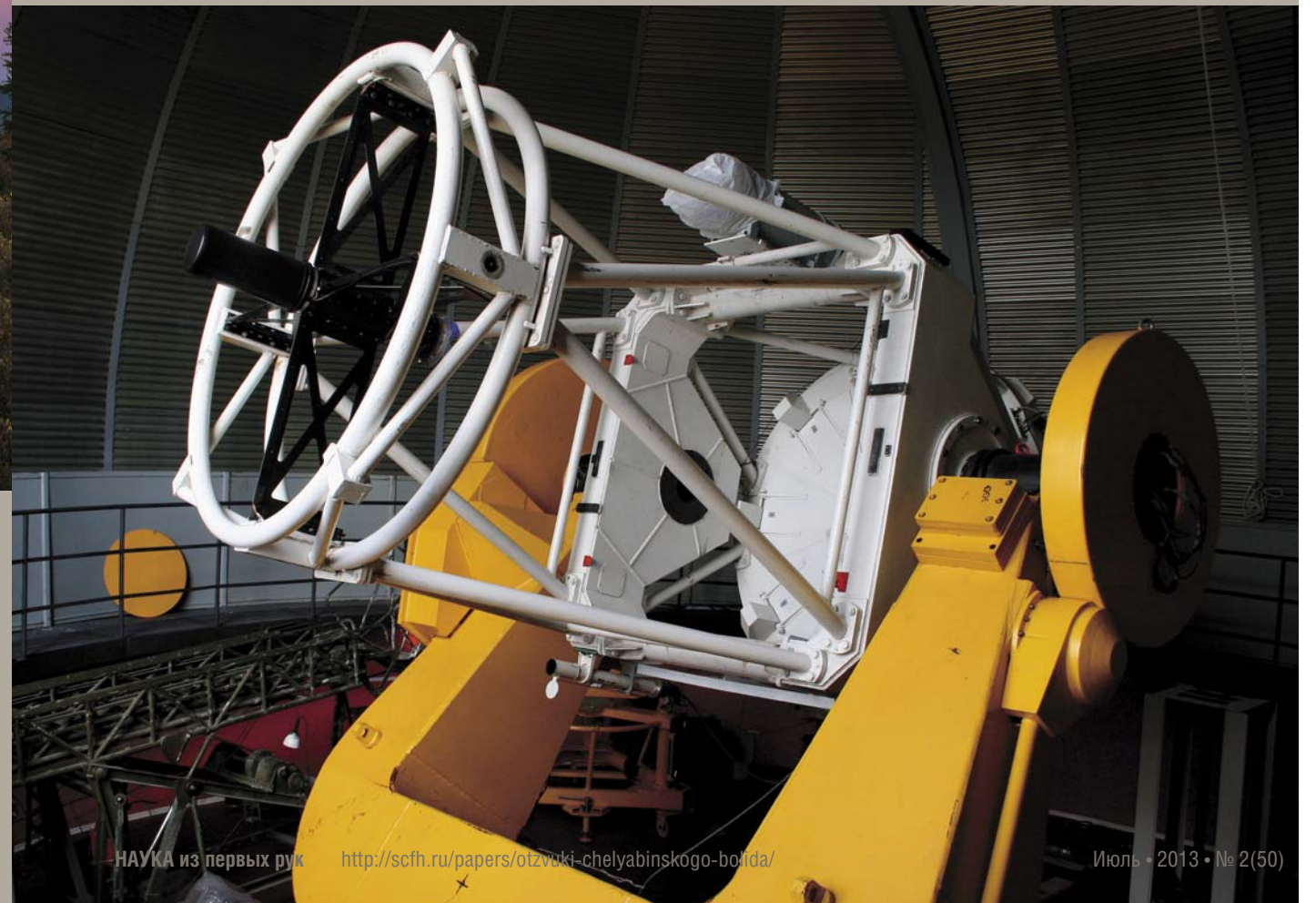
Также очевидно, что задачу поиска угрожающих Земле космических тел нельзя поручать человеку, поскольку надежность такого метода наблюдений невелика.

Поэтому большинство указанных выше систем включают в себя автоматизированные сети из небольших телескопов. В числе таких наиболее эффективных систем – американо-австралийская Catalina с диаметром оптики от 0,5 до 1,5 м. Полностью автоматизированной является и уже упомянутая отечественная система телескопов МАСТЕР.

Взгляд в будущее

Известно, что чем выше будет собирающая площадь главного зеркала телескопа, тем лучше его чувствительность. Однако, как говорилось выше, типичные оптические схемы обладают маленьким полем зрения, и для обследования всей доступной части неба требуются многие месяцы, если не годы. Поэтому сегодня актуальной задачей является создание широкоугольных (широкопольных) телескопов со сравнительно большой *апертурой* (диаметром главного зеркала или его собирающей линзы).

Фото автора



Необычно большим полем зрения в 3 квадратных градуса обладал первый телескоп американской системы Pan-STARRS с зеркалом диаметром 1,8 м, установленный на Гавайских островах в 2007 г. Впоследствии четыре таких телескопа были размещены на одной монтировке (такая схема была отработана в военных целях для лазерного дальномера). В перспективе планируется создать несколько таких установок.

Наиболее впечатляющим является, пожалуй, американский проект создания Большого обзорного телескопа (Large Synoptic Survey Telescope – LSST) с главным зеркалом диаметром 8,4 м. Большое поле зрения телескопа будет достигаться путем использования трех зеркал: в его оптической схеме предусмотрено помимо главного два дополнительных зеркала диаметром 3,4 и 5 м. В камерной части этого телескопа будут установлены 180 цифровых матриц с суммарным числом пикселей около 3 млрд. Каждое изображение, получаемое на таком телескопе, будет содержать около терабайта информации. Понятно, что обработка таких гигантских потоков информации потребует создания новых технологий.

LSST планируется ввести в строй в 2016 г. Телескоп будет расположен на пике Эль-Пеньон горы Серо-Пачон (2682 м) в северной части Чили. Ожидается, что телескоп будет способен осмотреть все небо за несколько ночей.

Сразу после падения Челябинского суперболида появились сообщения об ускорении планов развития Space Situational Awareness (SSA) – Европейской системы поиска и наблюдения опасных астероидов, инициированной в 2008 г. Европейским космическим агентством. Эта программа предусматривает в обозримом будущем создание системы из шести широкоугольных телескопов с диаметром зеркал 1 м, которые смогут обнаруживать потенциально опасные астероиды диаметром более 50 м за три месяца до возможного столкновения.

В России на сегодня действует небольшое число крупных телескопов, которые создавались не с целью наблюдения за астероидами. К ним относится 6-метровый телескоп Специальной астрофизической обсерватории РАН (Архыз), 2-метровый телескоп на пике Терскол («Цейсс-2000», Терскольский филиал ИНАСАН), 1,7-метровый телескоп Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск), российско-турецкий 1,5-метровый телескоп вблизи г. Анталя, созданный по инициативе Казанского (Приволжского) федерального университета. Кроме того, имеется еще военная установка на Алтае (Змеиногорск).

На сегодняшний день новые системы с относительно большими апертурами в России создаются только в ИСЗФ СО РАН. Так, в Саянской обсерватории ин-

ститута вблизи границы с Монголией на высоте 2000 м сооружается обзорный телескоп АЗТ-33 с зеркалом 1,6 м и большим (около 3 квадратных градусов) диаметром поля зрения. Этот телескоп, разработанный Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО) войдет в строй в ближайшие годы.

Руководитель проекта МАСТЕР профессор МГУ В.М. Липунов выступил с предложением создания сети модифицированных телескопов «МАСТЕР-3», которая могла бы целенаправленно работать по тематике астероидно-кометной опасности. Этот проект опирается на уже созданную инфраструктуру, поэтому может быть реализован в краткие сроки и с относительно небольшими вложениями.

Нужно сказать, что если сети небольших относительно недорогих автоматизированных телескопов постепенно начинают создаваться как во всем мире, так и в России, то разработка и сооружение крупных телескопов с большим полем зрения требует затрат в сотни миллионов долларов. Так, планируемая цена уникального инструмента LSST составляет около 400 млн долл., а реально он, без сомнения, обойдется еще дороже.

До недавнего времени правительства и даже многие ученые считали создание подобных систем неоправданным расточительством, а саму опасность – преувеличенной. Однако статистика открытий сближающихся с Землей астероидов последних лет заставила многих ученых и политиков всерьез задуматься. Скорее всего, в связи с Челябинским феноменом многие пересмотрят свою позицию.

Что будет делать человечество, если станет достоверно известно, что некий астероид столкнется с Землей? Даже если проблема заблаговременного обнаружения опасных астероидов будет решена в течение ближайших лет, задача обнаружения опасности не эквивалентна задаче ее устранения.

Нужно признать, что систем, способных уничтожить либо отклонить приближающийся объект, сегодня не существует. Предлагается множество теоретических методов, но нет ни одной реально существующей технологии. Более того, разработкой систем, способных на перехват астероидов, всерьез фактически никто не занимается. Для развертывания соответствующих программ требуется политическое решение, поскольку очевидно, что они потребуют огромных ресурсов.

Однако нет сомнений, что этой проблемой заниматься необходимо. Вспомним, что в результате падения знаменитого Тунгусского метеорита был повален лес на площади более 2 тыс. км²! Страшно подумать, что могло бы произойти, если бы траектория Челябинского



болида прошла чуть ближе к городу, хотя его мощность и была примерно в двадцать раз меньше, чем Тунгусского. Многочисленные человеческие жертвы были бы в этом случае неизбежны. Данные астрономических наблюдений последних лет показывают, что рядом с Землей каждый год пролетают десятки небесных тел различных размеров, при этом они обнаруживаются в лучшем случае за несколько суток. Только в России в начавшемся недавно веке было зафиксировано уже четыре события падения суперболидов. А что можно сказать заранее о траектории летящего к Земле астероида, который будет открыт завтра?

Безусловно, любая оборона всегда стоит дорого, но ее отсутствие может обойтись неизмеримо дороже. По словам д.ф.-м.н. А.В. Багрова из Института астрономии РАН, ведущего специалиста ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», «космическая угроза – это та же военная угроза, только идущая от противника, с которым нельзя договориться и нельзя напугать возмездием. Наша оборона должна быть готова к отражению атак из космоса так же, как к отражению военного нападения».

Есть надежда, что в результате Челябинского «синдрома» будет дан ход уже давно разработанным проектам противодействия астероидно-кометной опасности, в том числе и российским, до сих пор лежащим под сукном в кабинетах, где принимаются решения. О необходимости всерьез заняться проблемой астероидной опасности высказались многие российские политики высшего звена.

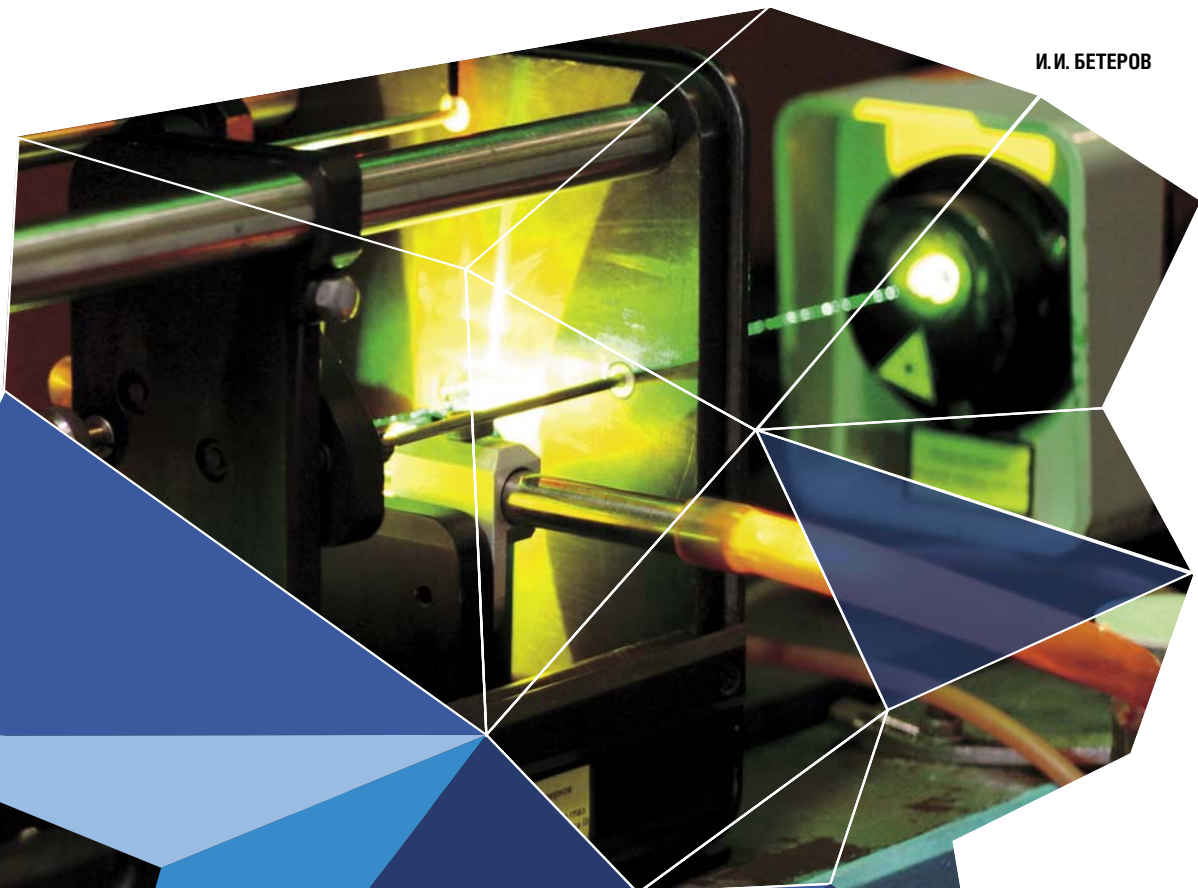
Телескоп АЗТ 33ИК Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск. Фото В. Короткоручко

Литература

Астероидная опасность: вчера, сегодня, завтра. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 384 с.
 Бронштэн В.А. *Тунгусский метеорит: история исследований.* М., 2000. 312 с.
 Вишневский С.А. *Астроблемы.* Новосибирск: ООО «Нон-парель», 2007. 288 с.
Катастрофические воздействия космических тел / Под ред. В.В. Адушкина и И.В. Немчинова М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 310 с.
Угроза с неба: рок или случайность? / Под ред. А.А. Боярчука М.: Космоинформ, 1999. 220 с.
 Цицин Ф.А. *Очерки современной космогонии Солнечной системы.* Дубна.: Феникс+, 2009, 356 с.
Энциклопедия. Т. 8. Астрономия / Гл. ред. М.Д. Аксенова. М.: Аванта+, 1997. 688 с.

Редакция благодарит Челябинский государственный краеведческий музей за предоставленные фото М. Ахметвалеева

И. И. БЕТЕРОВ



Некоторые элементы

КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ



Ключевые слова: квантовая информатика, квантовая криптография, ридберговские атомы
Key words: quantum informatics, quantum cryptography, Rydberg atoms

© И. И. Бетеров, 2013

Создание экспериментальных методов управления отдельными квантовыми системами привело к появлению новой и необычной области науки – квантовой информатики. Отдельные атомы, азотные вакансии, одиночные фотоны могут выступать в роли логических ячеек, но подчиняются особой квантовой логике. Это позволяет создавать невычислимые системы, способные решить невычисляемые с помощью обычных компьютеров задачи. Синтез информатики и квантовой физики рождает новые технологии в передаче и кодировании информации – квантовую криптографию, позволяющую создать абсолютно защищенный канал передачи данных



БЕТЕРОВ Илья Игоревич – кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник лаборатории нелинейных резонансных процессов и лазерной диагностики Института физики полупроводников СО РАН (Новосибирск). Сфера научных интересов: квантовая информатика, квантовая оптика. Автор и соавтор более 30 научных работ

Исследование отдельных квантовых систем, ставшее возможным благодаря развитию и совершенствованию тонких экспериментальных методов, является принципиально новым и многообещающим подходом к изучению природы. Эксперименты с отдельными ионами и нейтральными атомами, взаимодействующими с одиночными фотонами, в 2012 г. были отмечены Нобелевской премией по физике.

Квантовый характер таких объектов проявляется в том, что они обладают дискретным набором возможных состояний, которые можно «переключать», воздействуя на них электромагнитным излучением. И, фактически, они могут выступать в роли своеобразных логических элементов, на основе которых может быть создана вычислительная система.

Вычислить невычислимое

Зачем же нужны квантовые компьютеры? Ведь, казалось бы, обычные вычислительные системы сегодня достаточно мощны, а развитие методов параллельных вычислений позволяет увеличивать скорость расчетов в тысячи раз.

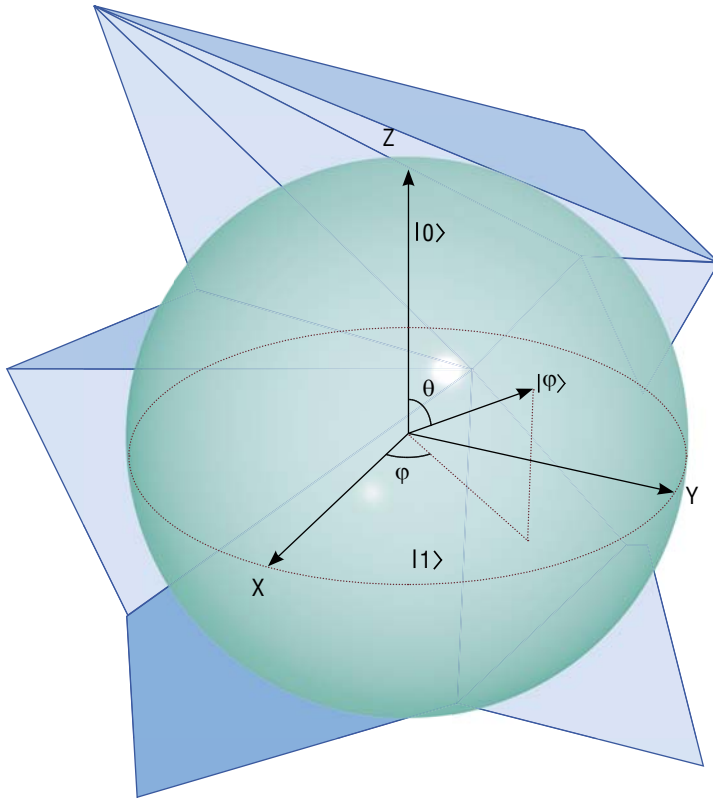
Однако есть ряд задач, решить которые с помощью классических компьютеров в разумные сроки невозможно. Это, в первую очередь, все точные (неэмпирические) квантово-механические расчеты атомов и молекул – если в интересующей нас молекуле содержится N электронов, то необходимое для последовательных вычислений время пропорционально некоторому числу в степени N , и уже для нескольких десятков электронов становится больше времени существования Вселенной. Эти трудности обсуждались в 1981 г. Ричардом Фейнманом в лекции «Моделирование физики с использованием компьютеров».

Но еще в 1980 г. в пионерной работе Юрия Манина «Вычислить невычислимое» (Манин, 1980), выдвигалась идея создания «квантовых автоматов» для расчета процесса разворачивания двойной спирали

Юрий Иванович Манин – российский математик, член-корреспондент РАН, один из основоположников квантовой информатики.

С 1960 по 1992 г. работал в отделе алгебры Математического института им. В. А. Стеклова АН СССР. С 2002 г. по настоящее время – профессор Северо-западного университета, США. Является прототипом математика Вечеровского в книге братьев Стругацких «За миллиард лет до конца света» Фото: Archives of the Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach





Кубит или элемент квантового компьютера представляет собой квантово-механический объект, обладающий двумя возможными состояниями. Например, это может быть атом в магнитном поле с двумя возможными направлениями собственного магнитного момента (спина). Промежуточных направлений спина в квантовом случае нет, измерение будет всегда показывать спин, направленный либо вверх, либо вниз – в зависимости от состояния.

Однако квантовый объект может находиться и в особом состоянии, называемом *суперпозицией*, являющемся суммой основных состояний. В этом случае измерение может дать как спин, направленный вверх ($|0\rangle$), так и направленный вниз ($|1\rangle$) – с определенной вероятностью. *Сфера Блоха* – удобный способ изображать квантовые состояния и их суперпозиции. Суперпозиция двух состояний может быть также записана в следующей форме:

$$|\Psi\rangle = \cos\theta|0\rangle + e^{i\varphi} \sin\theta|1\rangle$$

Графически, такое состояние кубита может быть изображено точкой на сфере Блоха. Положение точки задано углами θ и φ

ДНК – предлагалось использовать для моделирования квантово-механических явлений системы, обладающие не классическими, а квантовыми свойствами.

В те времена, когда были опубликованы работы Манина и Фейнмана, возможность использовать в компьютерах квантовые объекты была лишь гипотетической. Но в последнее время благодаря развитию экспериментальных методик появилась технологическая возможность создавать вычислительные системы, использующие квантовые свойства микроскопических объектов. Естественно, это вызывает огромный интерес у научного сообщества.

Вроде бы ноль, но немного единица

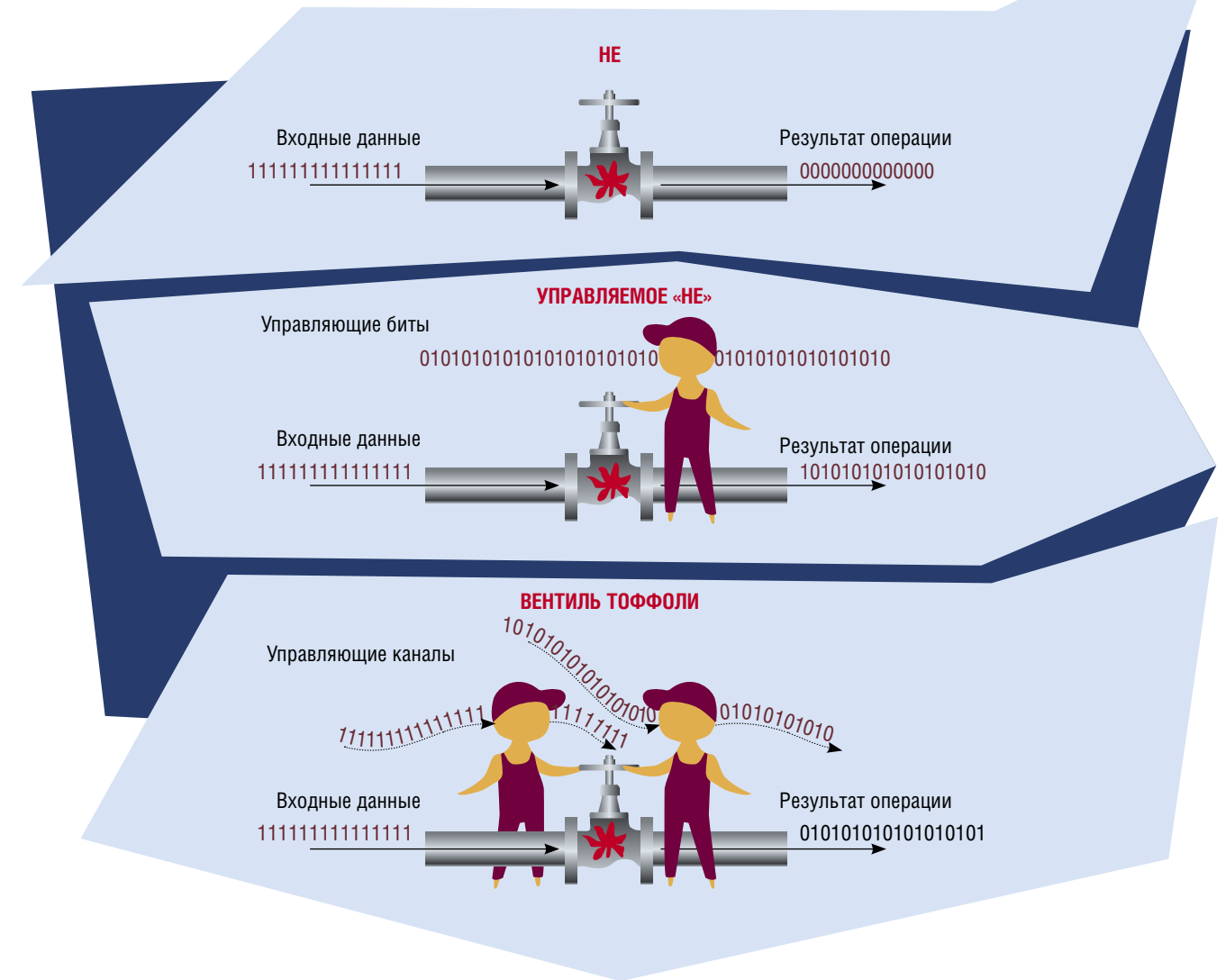
Обычные компьютеры производят математические операции над числами, представленными в двоичном виде, то есть в виде последовательностей нулей и единиц. Двоичная система удобна с точки зрения аппаратной реализации – ячейки памяти, в которых записаны числа, должны иметь всего два состояния – есть напряжение или нет напряжения, есть намагниченность или нет намагниченности и т.д. Процесс вычислений в двоичном счислении сводится к последовательности операций над нулями и единицами, а фактически – к изменению по определенным правилам состояний хранящих их ячеек памяти, регистров.

Квантовый компьютер, как и классический, может быть построен на основе двоичной системы исчисления. Некоторые микроскопические объекты, проявляющие квантовые свойства, обладают двумя состояниями, которые могут быть использованы для кодирования нулей и единиц.

Например, это может быть атом, обладающий собственным магнитным моментом – спином. В магнитном поле такой атом может обладать двумя ориентациями спина – в направлении поля и против поля.

Но, если обычная ячейка памяти содержит либо ноль, либо единицу, квантовый объект может находиться в особом состоянии, называемом *суперпозицией*. В этом случае, если измерять ориентацию спина атома в магнитном поле, можно получить как спин, направленный вверх, так и направленный вниз. И если такой объект использовать как ячейку памяти, то результат считывания с него информации даст с некоторой вероятностью ноль, и с некоторой вероятностью – единицу.

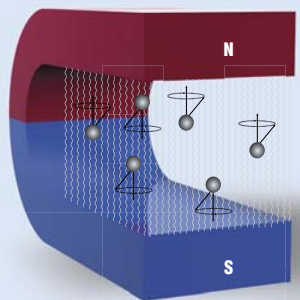
Кроме того, квантовые ячейки памяти, или как их принято называть, *кубиты*, могут взаимодействовать между собой, и находиться в одном общем, коллективном квантовом состоянии. В этом случае состояние нескольких ячеек можно изменять практически мгновенно, воздействуя лишь на одну из них. Этот коллективный характер поведения взаимодействующих кубитов, или *квантового регистра*, как раз и позволяет решать те вычислительные задачи, с которыми не может справиться обычный компьютер.



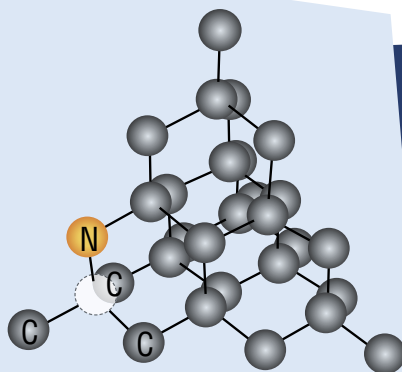
Вычислительная система может быть построена с использованием нескольких типов логических элементов, так называемых вентилей. Наиболее простыми являются вентили «НЕ», которые обращают входное значение, превращая ноль в единицу и наоборот. Результатом работы управляемого «НЕ» будет также обращение входных данных, но только в том случае, если управляющий бит равен 1. Вентиль Тоффоли аналогичен управляемому «НЕ», но у него два управляющих канала. Важной особенностью вентиля Тоффоли является обратимость данных – исходные данные могут быть восстановлены из конечных

Наиболее важные требования к квантовому компьютеру как физической системе – возможность управления состоянием каждого отдельного кубита, и полная изоляция от внешнего окружения. Кубит – объект атомных размеров, и чтобы он помнил свое состояние достаточно долго, необходимо, чтобы он был изолирован от внешних воздействий или, как говорят, его состояние сохраняло *когерентность*. Или, по крайней мере, время, за которое происходит разрушение квантовых суперпозиций, должно быть большим, хотя бы в 10⁴ раза превышающим время выполнения одной квантовой логической операции.

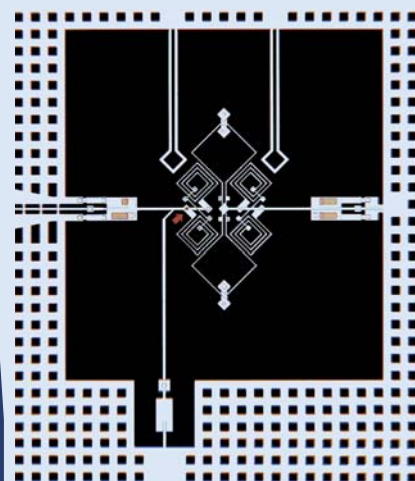
Для реальных вычислений кубиты должны быть объединены в квантовый регистр. Отдельные кубиты регистра должны быть различимы и управляемы извне. Кубиты должны быть строго двухуровневыми и не переходить самопроизвольно на какой-либо третий уровень. Кроме того, должна существовать возможность масштабировать квантовый регистр, т. е. добавлять, если нужно, новые кубиты. Необходимо управлять взаимодействием кубитов друг с другом. Именно взаимодействие, его вид и характеристики влияет на то, какие логические операции сможет выполнять квантовый регистр.



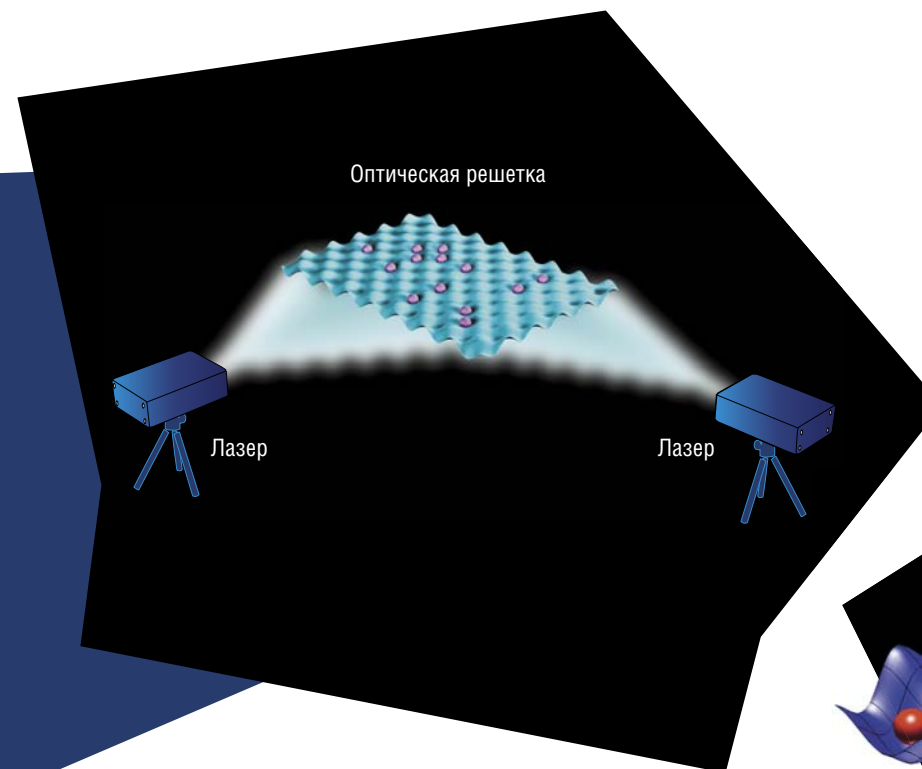
Кубиты могут быть изготовлены на основе ядер атомов. Ядра атомов обладают собственным магнитным моментом – спином. В магнитном поле спин начинает прецессировать вокруг направления поля, но сохраняет преимущественную ориентацию – вверх или вниз. Два возможных направления спина соответствуют двум состояниям, кодирующим двоичную информацию



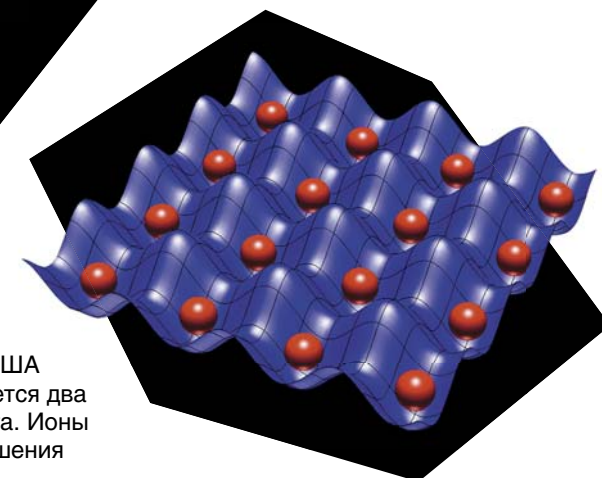
Если из структуры алмаза удалить два соседних атома углерода, и на место одного из них поместить атом азота, образуется азотная вакансия, так называемый NV-центр, который благодаря неподеленному электрону атома азота обладает собственным магнитным моментом. Используя спиновое состояние такой вакансии можно кодировать двоичную информацию. А система расположенных рядом вакансий может выступать в роли квантового регистра



Используя сверхпроводящие электрические цепи можно создать «искусственный атом» – джозефсоновский переход в центре схемы обладает квантовыми состояниями, и на его основе можно создать кубит – вычислительную ячейку квантового компьютера. *Courtesy Raymond Simmonds/ National Institute of Standards and Technology (NIST)*



Для захвата и удержания нейтральных атомов можно использовать двумерную оптическую решетку: стоячие волны, образуемые лучами двух лазеров, создают двумерную интерференционную картину. *Credit: NIST*



Ученые из Национального института стандартов и технологии США (NIST) разработали специальную ловушку, в которой удерживается два иона бериллия, находящиеся на расстоянии 40 мкм друг от друга. Ионы располагаются над золотой пластинкой, окруженной для уменьшения электростатических помех золотой сеткой и медным корпусом. *Credit: Y. Colombe/NIST*

Конечное состояние регистра также должно изменяться достаточно быстро. Немаловажную роль играет эффективность такого измерения – нужно уметь считать информацию с микроскопического объекта атомных размеров.

Фотонные кубиты

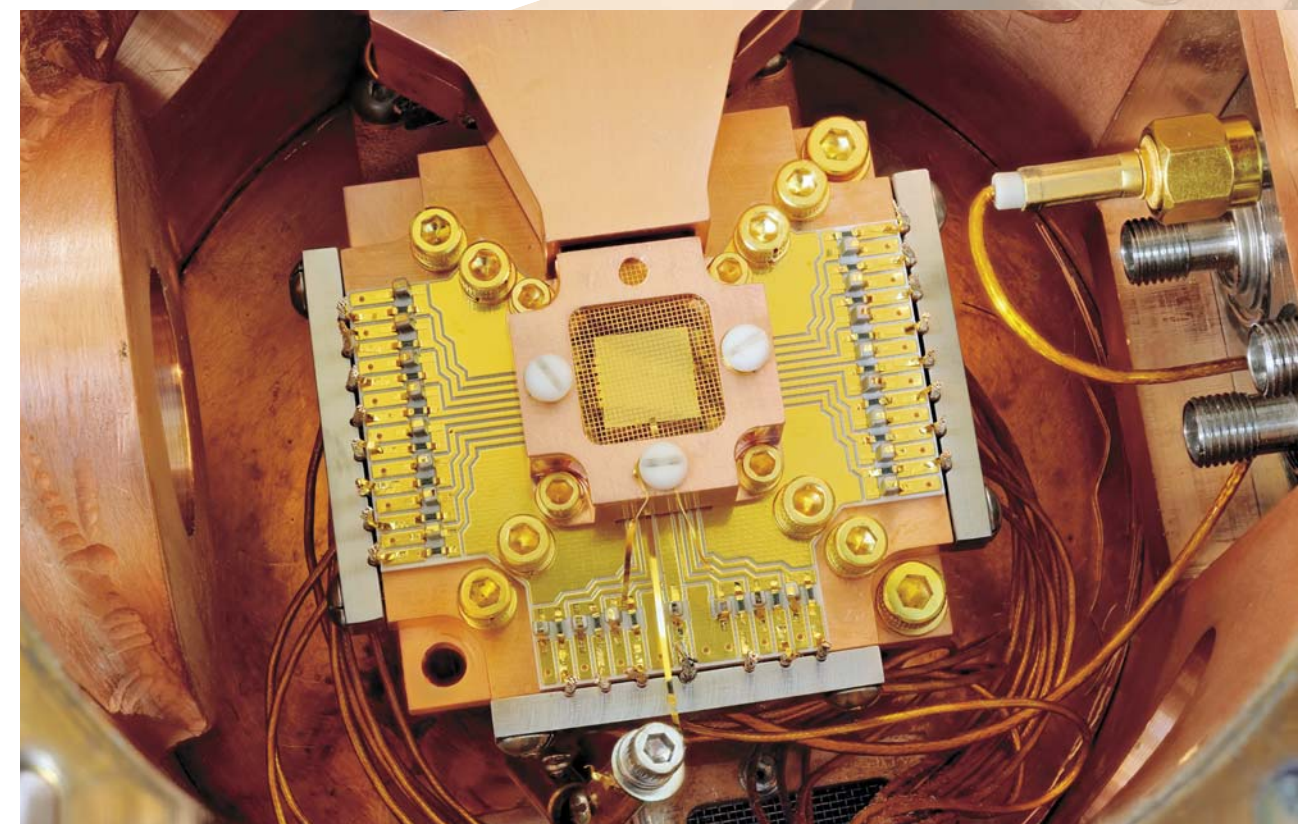
В настоящее время для реализации квантовых вычислений изучаются различные физические системы (Ladd, 2010). Например, в качестве состояний кубита можно использовать направление поляризации фотонов, которое практически не подвержено декогеренции. Логические операции с помощью фотонов можно выполнять, используя пластины из двулучепреломляющих материалов, вращающих поляризацию света. Основная трудность – реализовать взаимодействие отдельных фотонов, что требует оптических сред с очень высокой нелинейностью. Для этого могут быть использованы эффекты электромагнитно-индуцированной прозрачности или взаимодействие атомов с фотонами в микроволновом резонаторе.

В 2001 г. было показано, что квантовые вычисления могут быть реализованы на основе однофотонных источников, а также детекторов и линейных оптических схем с делителями пучка и интерферирующими одиночными фотонами (Knill, 2001).

Для считывания информации с фотонных кубитов могут быть использованы кремниевые однофотонные детекторы, достигающие квантовой эффективности при комнатной температуре в 70 %. Если же применять сверхпроводящие детекторы, их квантовая эффективность может достигать 95 %, но для этого необходимо охлаждение до 100 мК. Быстродействие сверхпроводящих детекторов может быть радикально увеличено путем использования нанопроволок.

Однако, главный недостаток схем квантовых вычислений, основанных на поляризации фотонов, – большая скорость потерь фотонов, сопоставимая со скоростью декогеренции в альтернативных реализациях квантового компьютера.

Для записи квантовой информации можно использовать сверхтонкие состояния нейтральных атомов, время жизни которых составляет секунды.



Дальнейшие взаимодействия между атомами позволяют выполнять двухкубитовые логические операции, а точность измерения конечного состояния кубита близка к 100 %.

Для создания квантового регистра нейтральные атомы можно захватывать в оптические решетки, образуемые стоячими световыми волнами. Пересечение лучей двух лазеров создает стоячую электромагнитную волну, к пучностям которой притягиваются атомы. Таким образом, из них можно создать пространственно упорядоченные структуры.

В 2010 г. ученым из университета Висконсин-Мэдисон (США) удалось осуществить квантовые логические операции с нейтральными холодными атомами (Isenhower, 2010).

Бликий подход – применение ионов, охлажденных лазерным излучением за счет сил резонансного светового давления и удерживаемых электрическим полем.

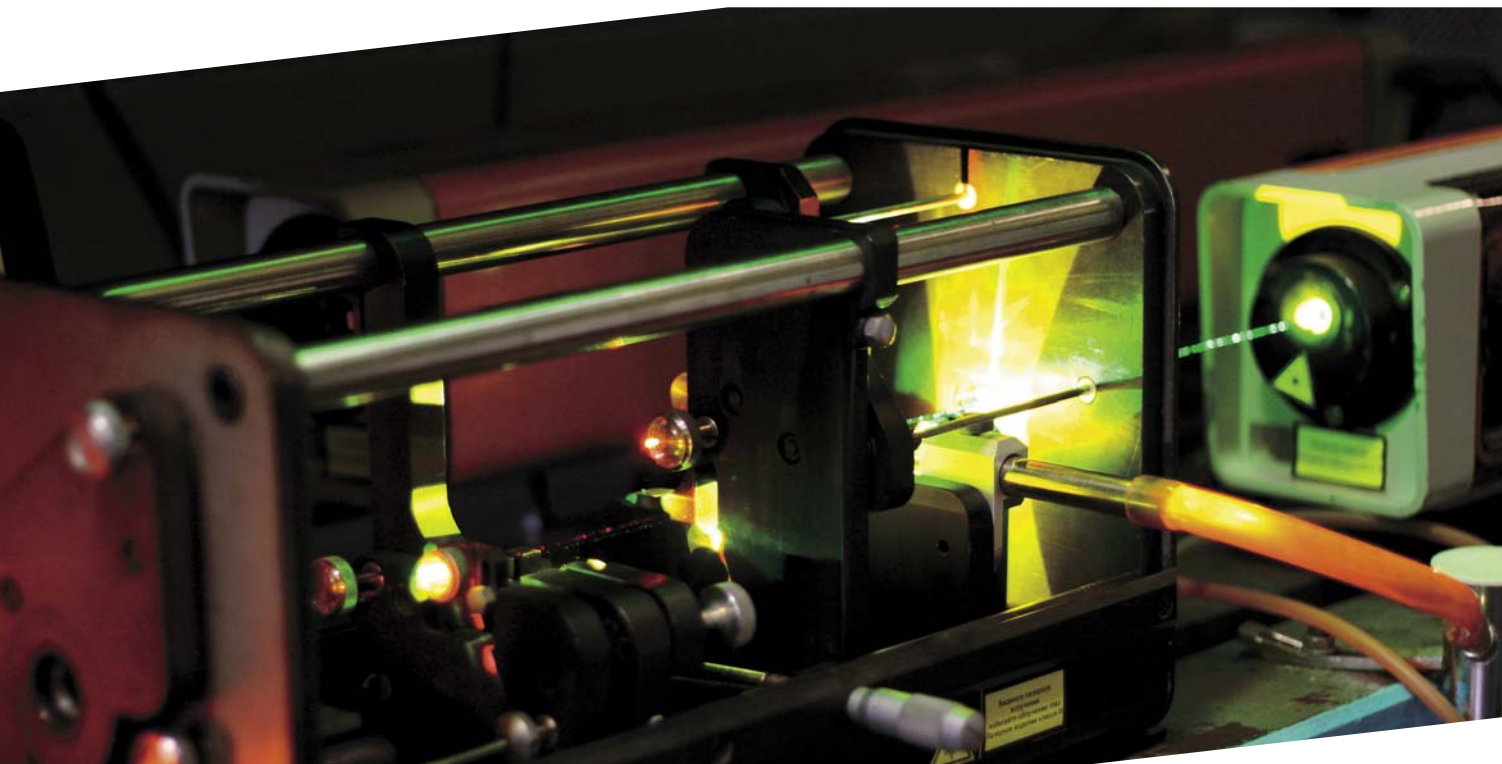
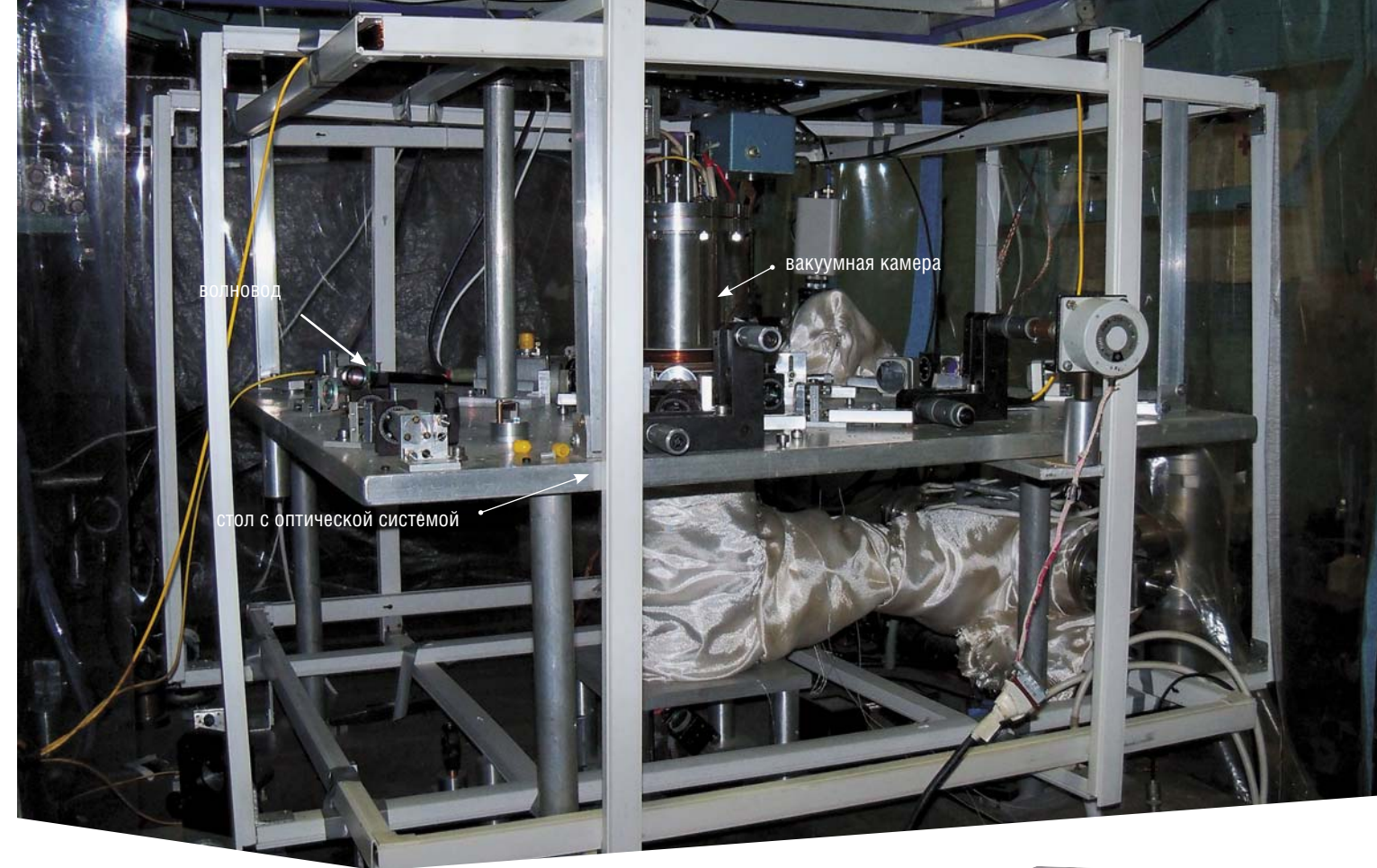
Квантовые регистры, составленные из нескольких кубитов, были успешно реализованы в молекулах с использованием ядерного магнитного резонанса (ЯМР). В магнитном поле ядерные спины начинают прецессировать, ориентируясь параллельно или антипараллельно относительно направления магнитного поля. Этим двум возможным направлениям соответствуют логические состояния кубитов. В молекулах частота прецессии для различных атомов будет отличаться.

Это позволяет индивидуально адресоваться к отдельным атомам в молекуле, используя резонансное электромагнитное излучение. Простейшие квантовые алгоритмы были продемонстрированы в квантовых ЯМР-компьютерах на основе органических молекул, но масштабирование таких систем пока невозможно.

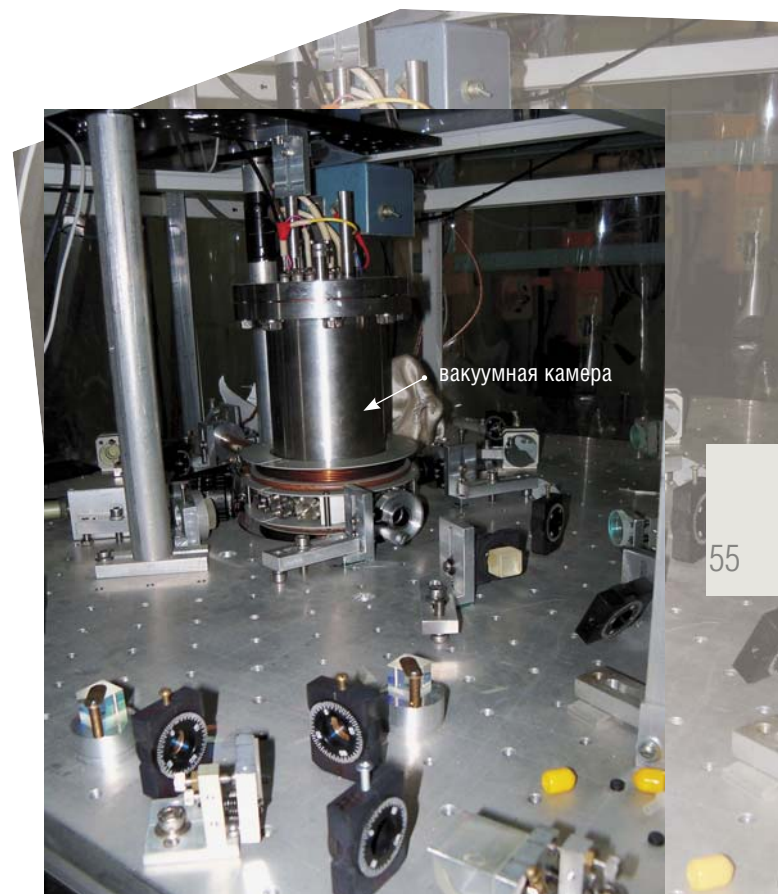
Вместо массивов нейтральных атомов, удерживаемых лазерным излучением, можно использовать массивы «искусственных атомов», например, квантовых точек в полупроводниках (Валиев, 2001). Логические состояния кубита в этом случае представляются двумя состояниями спина электрона в квантовой точке. Также для создания кубитов можно использовать донорные атомы фосфора в полупроводниках или азотные вакансии в алмазах. Спиновые состояния таких кубитов легко управляются внешними электромагнитными полями, время жизни спинового состояния достигает миллисекунд, а спин-спиновые взаимодействия позволяют получить когерентные суперпозиции состояний и реализовать двухкубитовые и более операции.

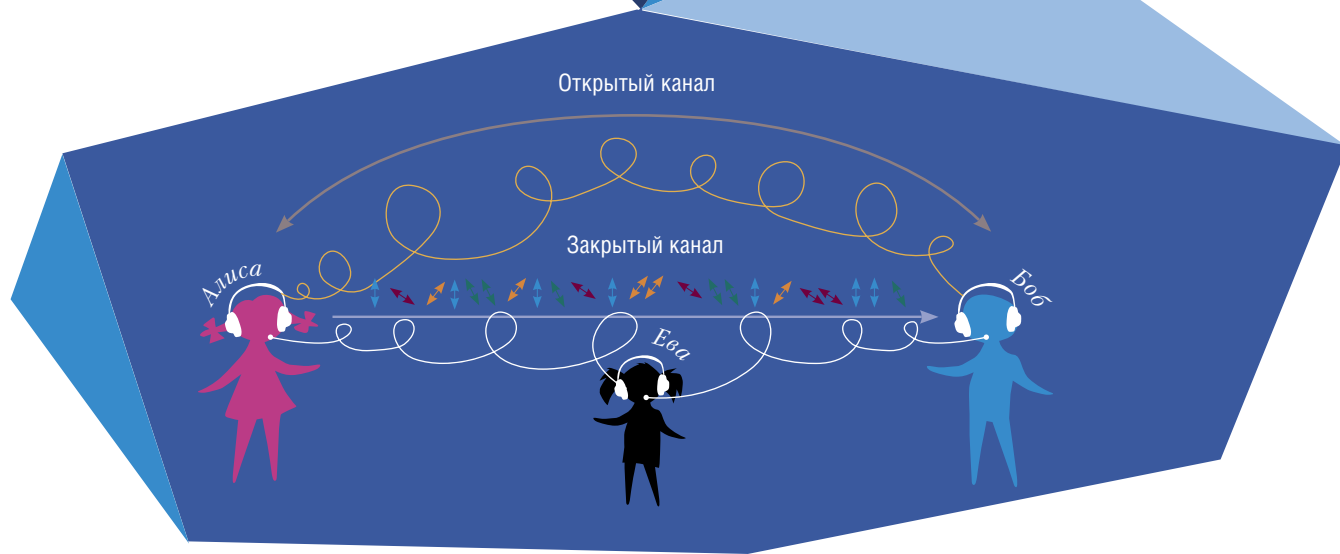
Широко известным и достаточно перспективным методом реализации квантового компьютера является

Для возбуждения ридберговских атомов используются перестраиваемые лазеры с частотой повторения импульсов 5 кГц и длительностью импульсов 20—100 нсек



В Институте физики полупроводников СО РАН создана установка для экспериментов с холодными ридберговскими атомами, т. е. атомами, внешний электрон которых находится в высоковозбужденном состоянии. Это позволяет управлять взаимодействием атомов, что необходимо для использования их для создания кубита. В центре установки расположена вакуумная камера, в которой атомы рубидия охлаждаются лазерным излучением до температур в сотни микрокельвин и возбуждаются в ридберговские (высоковоозбужденные) состояния. На столе собрана оптическая схема лазерного охлаждения и возбуждения атомов. Атомы рубидия внутри вакуумной камеры захватываются в магнито-оптическую ловушку, образованную тремя парами ортогональных встречных лазерных пучков и двумя катушками, создающими неоднородное магнитное поле. Затем холодные атомы возбуждаются в ридберговские состояния, с $n > 20$, в которых благодаря огромным величинам дипольных моментов они начинают взаимодействовать друг с другом уже на расстояниях порядка 10 мкм. Для регистрации ридберговских атомов используется метод селективной полевой ионизации в момент, когда ридберговский атом, находящийся в данном квантовом состоянии, ионизируется определенным электрическим полем. Этот метод позволяет измерить число возбужденных атомов и определить квантовое состояние, в котором они находятся





В квантовой криптографии передатчик (Алиса) обменивается с приемником (Бобом) информацией по двум каналам – зашифрованному и открытому. Информация кодируется направлением поляризации фотонов, передаваемым в зашифрованный канал. По открытому каналу Боб и Алиса обмениваются информацией о ключе шифрования. Если подслушивающее устройство (Ева) попытается считать информацию, она необратимо исказит ее. Это может быть легко обнаружено Бобом и Алисой

использование сверхпроводников – в этом случае отдельные кубиты могут иметь мезоскопический характер и содержать до $\sim 10^{10}$ движущихся квантово коррелированно электронов. Преимущество такого подхода – большие времена декогеренции.

Многие из этих методов в настоящее время развиваются, в частности, в Институте физики полупроводников СО РАН, включая исследование квантовых точек, азотных вакансий в алмазе и взаимодействия ультрахолодных ридберговских атомов.

Квантовая криптография

Успехи в создании квантовых логических элементов позволяют перейти к практической реализации принципов квантовой информатики. Хотя квантовые вычислительные системы обладают потенциально огромными возможностями, они, конечно же, не заменят обычные компьютеры. Аналогично, появление лазеров не привело к исчезновению обычных источников света – но они создали возможность решения новых и специфических задач.

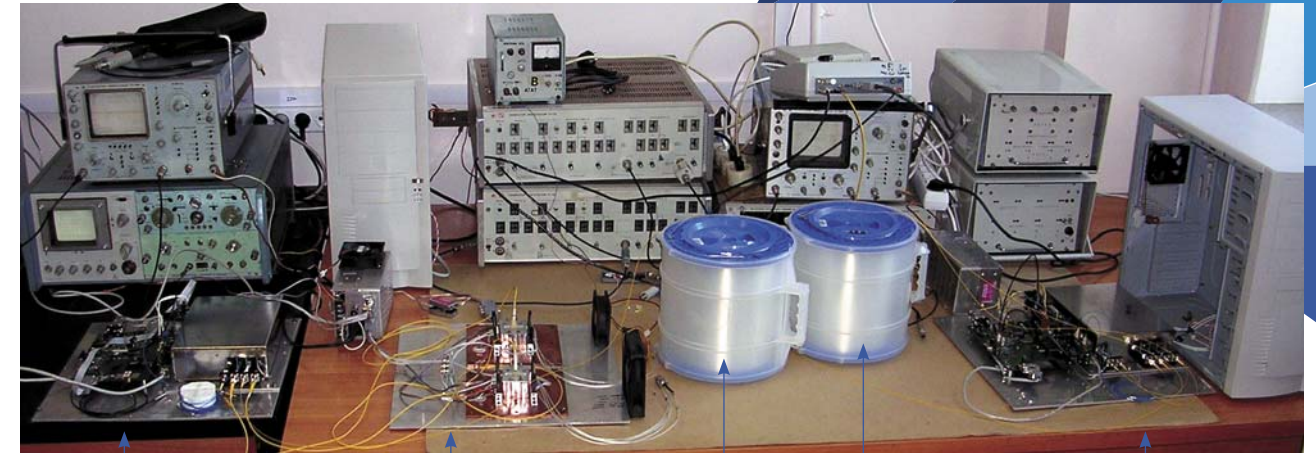
К примеру, эксперименты в квантовой оптике позволили продемонстрировать такие фундаментальные

в криптографии и компьютерной безопасности приняты специальные обозначения для передатчика, приемника и перехватчика сообщений (прослушивающего устройства) – Алиса, Боб и Ева соответственно. Эти обозначения были впервые введены Ронам Ривестом в 1978 г. в статье, описывающей криптосистему RSA. Иногда злонамеренного перехватчика называют Мэлори – подразумевается, что Мэлори может не только подслушивать, но и передавать от себя ложную информацию

физические явления, как квантовая запутанность, – измерение состояния одного квантового объекта может привести к тому, что состояние другого объекта, квантово коррелированного с первым, изменится. Излагаемый далее протокол квантовой криптографии не требует квантовой запутанности – в его основе лежит невозможность копирования квантового состояния.

Передатчик (Алиса) кодирует информацию путем задания той или иной поляризации испускаемых им фотонов, скажем, пропуская их через материал, который вращает плоскость поляризации. Вертикальная поляризация означает «1», а горизонтальная – «0». Приемник (Боб) анализирует полученный фотон с помощью устройства, пропускающего только вертикально поляризованные частицы. И, соответственно, получает «1», когда регистрирует сигнал, или «0», когда сигнала нет.

Допустим, что Алиса испускает также и фотоны, поляризованные по диагонали – под углом в 45° и 135° (в другом базисе). Тогда Боб, анализируя диагонально поляризованный фотон вертикально ориентированным анализатором, будет получать не достоверные значения нулей и единиц с некоторой вероятностью ошибется: в 50 % случаев он будет получать «1», в 50 % – «0». Чтобы получить достоверную информацию, приемник



Модуль приемника «Боб» Модуль счетчика фотонов Квантовый канал 25 км Линия хранения 25 км Модуль передатчика «Алиса»

Разработанная в Институте физики полупроводников установка квантовой криптографии. Передатчик (Алиса) передает сигнал по квантовому каналу длиной 25 км приемнику (Боб)

должен знать, какой тип поляризации использовал передатчик при кодировании. Об этом Алиса сообщает Бобу по отдельному, открытому каналу, используя тот или иной протокол.

Если кто-то будет пытаться прослушать канал обмена данными (перехватчик, или Ева), то он заведомо не будет знать базиса. Чтобы остаться незамеченной, Еве необходимо поглотить фотон и испустить такой же точно квант света обратно в канал. Но она не знает, какой был базис поляризации – вертикальный или диагональный, она получила только лишь сигналы «0» или «1». И, соответственно, не может в точности скопировать такой поглощенный фотон, чем вносит дополнительную ошибку в получаемую Бобом информацию. Благодаря этому Алиса и Боб узнают о том, что канал кто-то прослушивает.

Системы секретной передачи данных на основе методов квантовой криптографии производятся компаниями ID Quantique и MagiQ Technologies. Кроме того, исследования в данной области ведутся в интересах органов безопасности ряда стран. В ИФП СО РАН созданы российские прототипы систем квантовой криптографии.

Литература

- Валиев К.А., Кокин А.А. *Квантовые компьютеры: надежды и реальность*. Ижевск: РХД, 2001. 352 с.
- Манин Ю.И. *Вычислимое и невычислимое*. М.: Сов. радио, 1980. 128 с.
- Isenhower L., Urban E., Zhang X.L., et al. // *Phys. Rev. Let.*, 2010. V. 104.
- Feynman R.P. *Engineering and Science* / 1960. P. 22–36 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2012/.
- Feynman R.P. *Simulating physics with computers* // *Int. J. Theor. Phys.* 1982. V. 21. P. 467;
- Feynman R.P. *Quantum mechanical computers* // *Opt. News*. 1985. V. 11. P. 11.
- Knill E., Laflamme R., and Milburn G.J. // *Nature*. 2001. V. 409. P. 46–52.
- Ladd T.D., Jelezko F., Laflamme R., et al. // *Nature*. 2010. V. 464. P. 45.
- Nature Physics Insight // Quantum Simulation*. 2012. V. 8. No 4. Ed. by A. Trabesinger.
- Nielsen M.A., Chuang I.L. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2010.
- Vedral V., Plenio M.B. *Basics of Quantum Computation, Progress in Quantum Electronics*. Pergamon. 1998. V. 22. P. 1–39.
- DiVincenzo D.P. *Quantum computation* // *Science*. 1995. V. 270. P. 255;
- DiVincenzo D.P. *The Physical Implementation of Quantum Computation* // *Fortschr. Phys.* 2000. V. 48. P. 771.

Н. В. ТИКУНОВА, В. В. ВЛАСОВ,

БАКТЕРИОФАГИ — враги наших врагов



ТИКУНОВА Нина Викторовна – доктор биологических наук, заведующая лабораторией молекулярной микробиологии Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН. Автор и соавтор 90 научных работ, 11 патентов



ВЛАСОВ Валентин Викторович – академик РАН, доктор химических наук, профессор, директор Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН. Лауреат Государственной премии РФ (1999). Автор и соавтор более 200 научных работ, 9 патентов



Бактериофаги (с древнегреч. – «пожирающие бактерии»), или просто фаги, – это вирусы, способные поражать бактерии. Согласно современным данным, основная роль в природе этих «убийц» бактерий, которые являются наиболее многочисленными клеточными организмами на Земле, заключается в существенном ускорении разложения органического вещества (в конечном счете до углекислого газа и воды). Тем самым фаги, влияя на глобальные геохимические процессы, поддерживают круговорот вещества и энергии в биосфере Земли. Что касается человека, то поскольку многие бактерии являются нашими врагами, кажется естественным использовать фаги в качестве эффективного и безопасного «биологического оружия» для уничтожения или контроля численности вредных и болезнетворных бактерий

Ключевые слова: бактериофаг, литический фаг, бактерия, инфекция, фаговая терапия.

Key words: bacteriophage, lytic phage, bacteria, infection, phage therapy

© Н. В. Тикунова, В. В. Власов, 2013

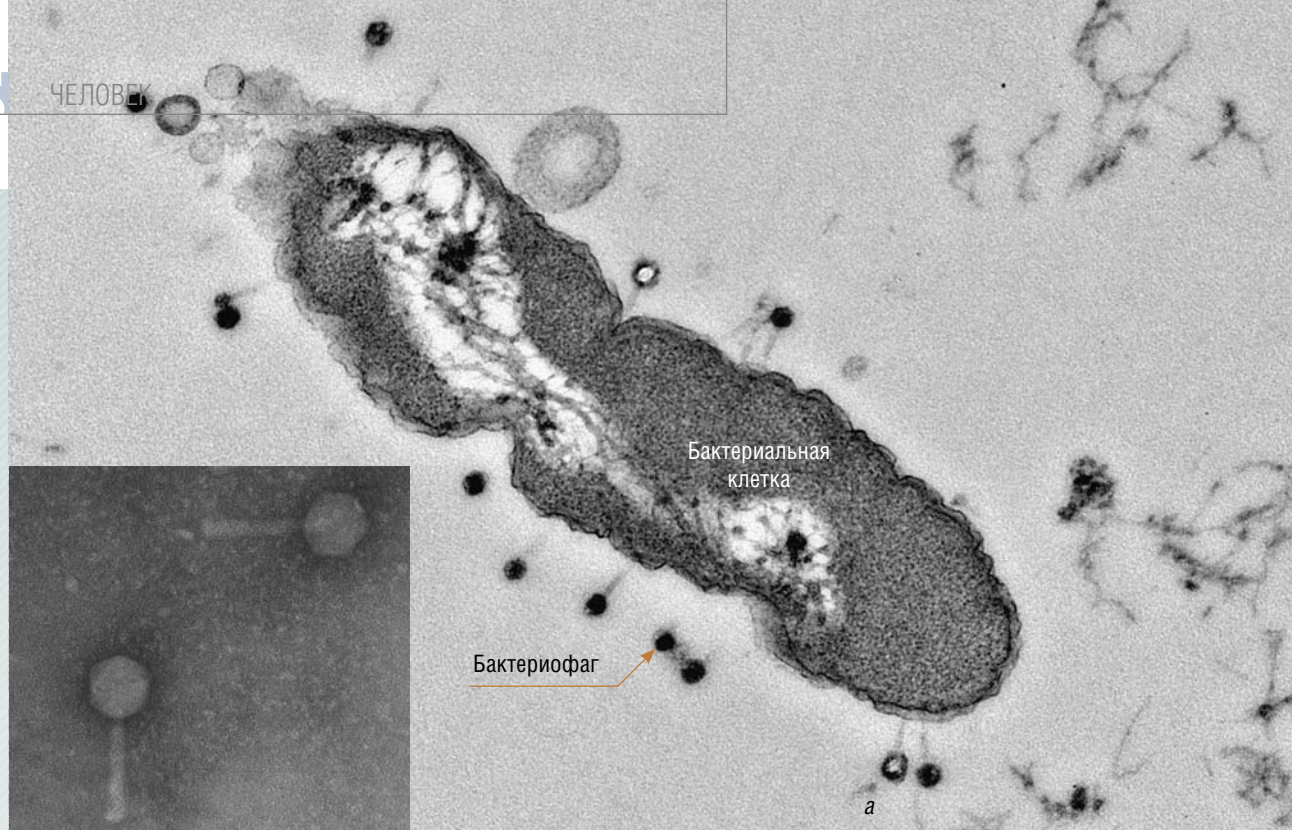
Нам микроскоп открыл, что на блохе сидит блоха кусающая блошка...

Дж. Свифт, «Рапсодия» (1733)

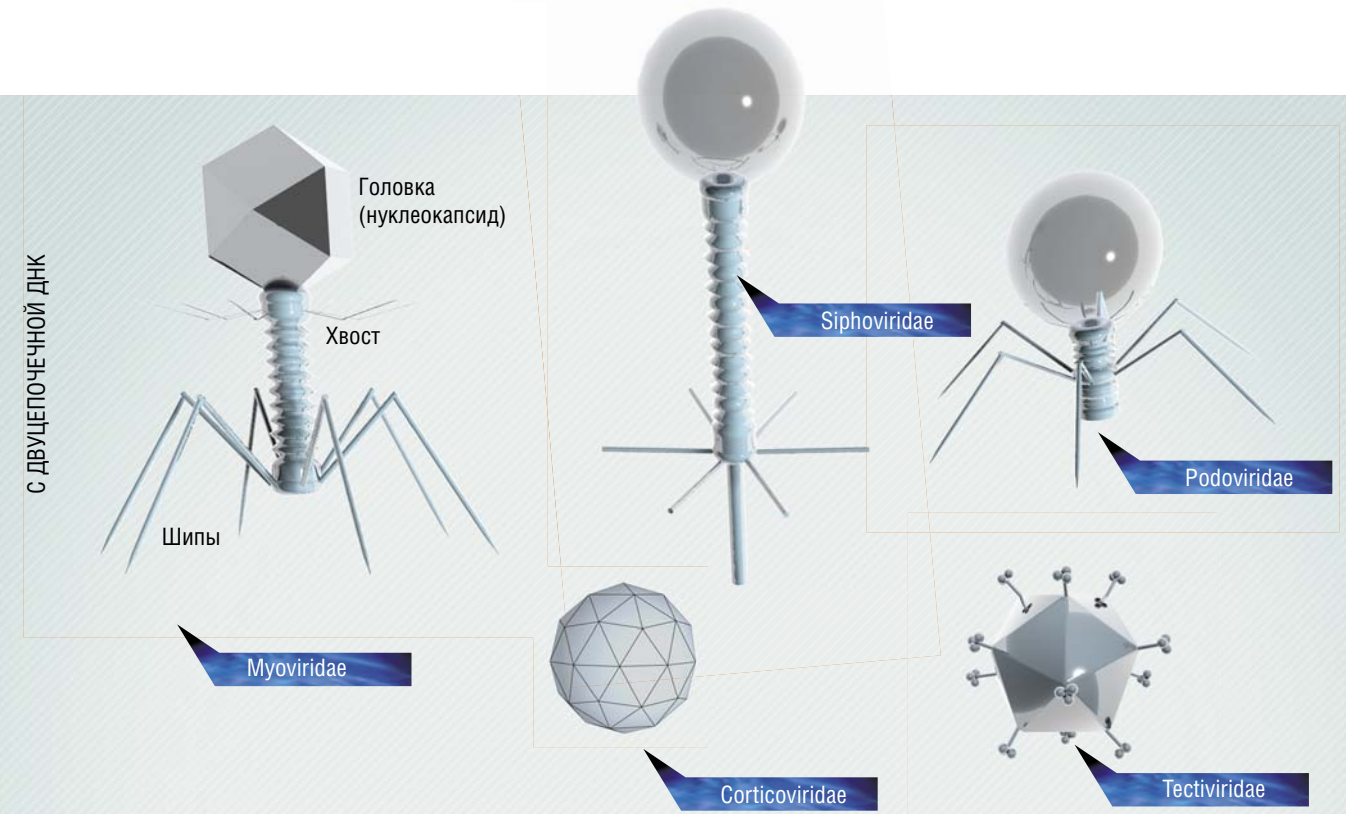
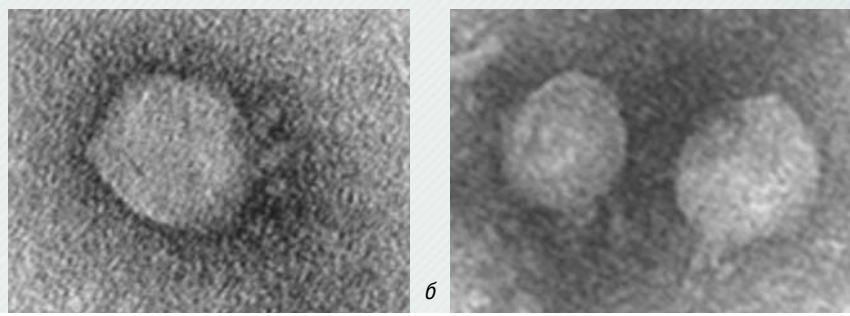
Как и все вирусы, бактериофаги находятся на границе между живым и неживым. Вне клеток-хозяев большинство фагов существует в виде вирионов – объектов, напоминающих сложные молекулярные кристаллы. А «живут» фаги, т. е. размножаются, только внутри бактериальных клеток, поскольку их генома недостаточно для автономного существования.

Мир бактериофагов весьма разнообразен: на сегодня известно более 500 разных видов фагов, отличающихся формой и строением. По отношению к бактериям фаги делятся на умеренные и литические. Умеренные фаги встраивают свой геном в геном бактерии, но проявляют свою «убийственную» активность не сразу: затаившись в нем, они размножаются вместе с бактериями и затем уничтожают их расплодившееся потомство. Лизирующие же фаги, заражая бактерию, сразу убивают ее.

Бактериофаги обитают в почве (в 1 г – около 10^8 фагов), в реках, озерах и океанах (в 1 мл морской воды – 10^6 фагов), в других живых организмах (в желудочно-кишечном тракте человека – около 10^{12} фагов). Общая же численность бактериофагов, по оценке ученых, достигает астрономической цифры – 10^{31} фагов или 10^9 т вещества. Это своеобразная биологическая «темная материя», пронизывающая всю земную биосферу. Еще несколько цифр: если предположить, что средний диаметр фаговой частицы составляет 50 нм, то все бактериофаги планеты, построенные «в одну шеренгу», составят линию протяженностью $5 \cdot 10^{20}$ км или $5 \cdot 10^7$ световых лет! Именно на таком расстоянии расположено ближайшее к нам скопление галактик в созвездии Девы, а до ближайшей звезды Проксима Центавра всего 4,2 световых года



«Хвостатые» бактериофаги, нападающие на бактерию *Pseudomonas aeruginosa* (синегнойную палочку) (а) и бактериофаги, инфицирующие бактерии *Proteus mirabilis* (б), вызывающие заболевания мочеполовых органов, в том числе простатит, цистит и пиелонефрит. Электронная микроскопия. Фото Е.И. Рябчикова



Бактериофаги различаются по форме и строению. Некоторые из них имеют очень простую форму – икосаэдра или нити, а некоторые своим видом напоминают настоящих космических роботов-убийц. У одних фагов наследственная генетическая информация зашифрована в ДНК (одно- или двуцепочечной), у других – в РНК. Наиболее сложно организованы фаги с большим (обычно до 170 тыс. пар нуклеотидов) геномом. Такие фаги и по размеру могут быть крупнее вирусов многоклеточных животных. Типичный бактериофаг состоит из головки, в которой содержится ДНК или РНК, окруженная белковой или липопротеиновой оболочкой (капсидом), и хвоста белковой трубки, которая используется для инъекции вирусного генетического материала в бактериальную клетку

Именно такие простые фаги являются на сегодня наиболее привлекательными, с точки зрения использования в биотехнологиях и для терапевтических целей.

Боевые «машины»

Бактериофаги, эти настоящие природные боевые машины, устроены крайне просто: их генетический материал, ДНК или РНК, упакован в белковую оболочку, снабженную «орудиями» – специальными устройствами для нападения на бактерии.

Размер генома у разных фагов может различаться. У некоторых он очень мал – (от 3,5 тыс. пар нуклеотидов), в таком геноме хранится информация всего лишь о 3–4 белках. Более того, гены, кодирующие эти белки, вынуждены перекрываться (накладываться друг на друга). Размер геномов у других фагов сопоставим с размером геномов крупных, сложно организованных вирусов многоклеточных животных, достигая 170 тыс. пар нуклеотидов (самый крупный из известных фагов содержит около 480 тыс. пар оснований!). Такой геном

Бактериофаги были открыты свыше ста лет назад в исследованиях, проводившихся в разных странах почти одновременно. Еще в конце XIX в. исследователи, в том числе российский микробиолог Н. Ф. Гамалея, обнаружили некие мельчайшие агенты, проходящие сквозь поры фарфоровых фильтров, которые были способны убивать бактерии.

В 1915 г. англичанину В. Туорту и французю Ф. д’Эрелю удалось выделить эти агенты (впоследствии д’Эрелю пришлось многие годы бороться за свой приоритет с Туортом). Именно д’Эрель назвал вновь открытые частицы «бактериофагами». Он сразу понял, что они могут найти применение в качестве противобактериальных препаратов, и в 1919 г. впервые применил фаговый препарат для лечения дизентерии у детей

ЧУДЕСА БАКТЕРИОФАГОВ

Люди издавна сталкивались с чудесными случаями исцелений от инфекционных заболеваний. Сегодня мы имеем право считать, что зачастую их можно объяснить неосознанным использованием бактериофагов. Ведь эти бактерицидные агенты встречаются на Земле повсеместно – в почве и в воде, а для лечения воспалений и ран с древнейших времен применяли грязи и смеси на основе природных продуктов. Не исключено, что подобные случаи чудесного исцеления вызвали к жизни такие обряды, как омование в священных водах Ганга и крещение в Иордане.

Антибактериальную активность природных продуктов пытались использовать и не в столь далекие времена. В 1920-х гг. великий хирург-архиепископ Святитель Лука (Войно-Ясенецкий), находясь в ссылке в глухой деревне, узнал о местной знахарке, умеющей излечивать гнойные раны и чирьи с помощью смеси из земли, кислого молока и золы. Лука попытался разобраться в природе этого явления, экспериментируя с составом композиции. Однако результаты лечения плохо воспроизводились (впрочем, как и у всех работавших в то время с бактериофагами). Иногда оно приводило к фантастически быстрому излечению больных, иногда вовсе не помогало. Не имея необходимых условий для работы и возможности ознакомиться с медицинской литературой, Лука вынужден был оставить свои исследования. Сейчас мы знаем, что эффективность фагового препарата будет зависеть от того, имеются ли в его составе бактериофаги, «специализирующиеся» на патогенных бактериях конкретного пациента



Портрет святителя Луки Войно-Ясенецкого. Художник И. В. Гайдук. 2007 г. Масло, холст 60 × 50 см. <http://gayduk.org/> Публикуется с разрешения автора

может кодировать уже до двухсот различных белков. Именно такие фаги обычно имеют большие размеры и сложно организованы.

Лизирующий фаг своим видом больше всего напоминает космический корабль-робот, способный стыковаться с заданным объектом. К головке фага, представляющей собой белковый резервуар с упакованной в ней ДНК, присоединен «хвост» – белковая структура наподобие щупалец, на которых расположены так называемые узнающие элементы, способные прочно связываться с рецепторами (особыми белками или полисахаридами) на поверхности бактерии.

После такой «стыковки» с бактерией-мишенью фаг прочно прилипает к ее поверхности. На одну бактериальную клетку могут одновременно напасть сотни бактериофагов, но чтобы убить ее, достаточно и одного. При этом взаимодействие фаг-клетка очень специфично: конкретный фаг может взаимодействовать лишь с определенными (целевыми) видами бактерий и не способен присоединиться к клеткам человека.

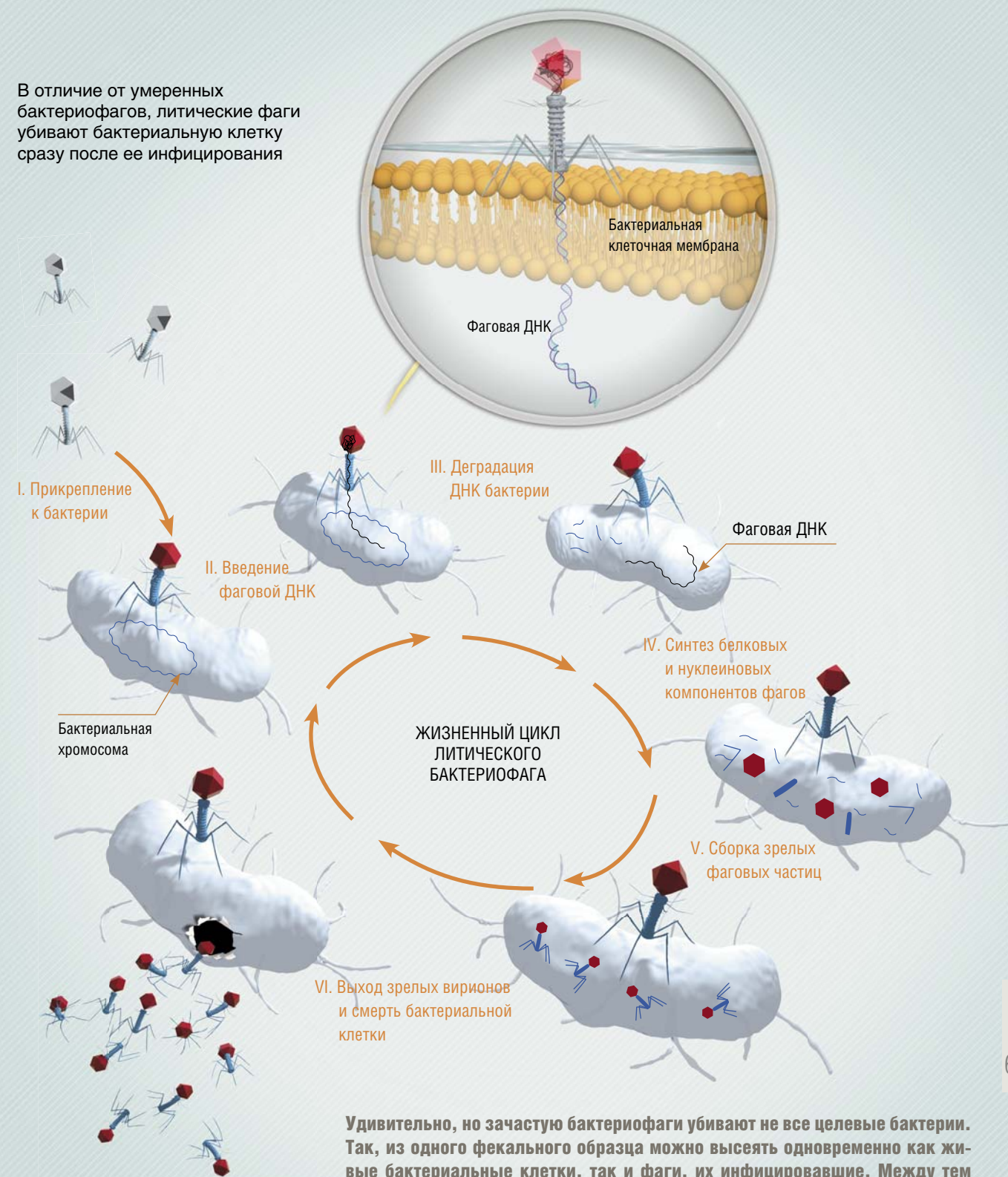
Когда фаг закрепится на поверхности бактерии, его «хвост» с помощью специальных белков внедряется в бактериальную стенку, протыкая ее. Сквозь хвостовой канал генетический материал фага вбрасывается в клетку. Генетические программы фага берут под контроль все жизнеобеспечение клетки: с этого момента все ее материальные и энергетические ресурсы, все молекулярные «машины» переключаются на синтез белков и копий генома фага.

Бактерия обречена. В течение следующего получаса в клетке синтезируются сотни и тысячи новых фаговых частиц, после чего она разрушается, высвобождая очередной отряд бактериальных «убийц».

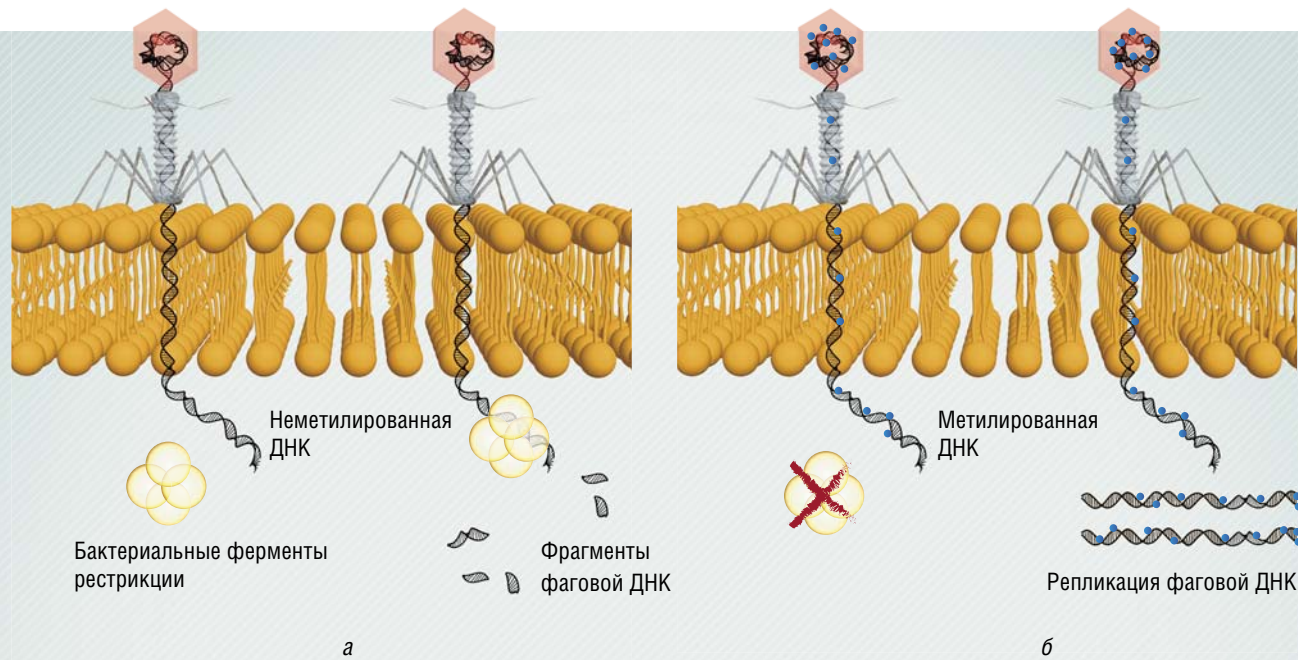
Гонка вооружений

По оценке специалистов, каждые двое суток бактериофаги уничтожают половину мировой популяции бактерий. Вот почему эти быстро размножающиеся организмы не покрыли толстым слоем всю поверхность

В отличие от умеренных бактериофагов, литические фаги убивают бактериальную клетку сразу после ее инфицирования



Удивительно, но зачастую бактериофаги убивают не все целевые бактерии. Так, из одного фекального образца можно высеять одновременно как живые бактериальные клетки, так и фаги, их инфицировавшие. Между тем в фекалиях человека концентрация бактерий составляет 10^5 – 10^8 КОЕ/г, что намного превышает концентрацию, необходимую для экспоненциального размножения фагов. Бактериофаг может очень эффективно убивать бактерии в культуре, но оказывается неспособен подавить их размножение в организме. Вероятно, имеется какой-то природный механизм, обеспечивающий одновременное сосуществование «охотников» и их «жертв»



нашей планеты – в отсутствии фагов они сделали бы это за несколько дней.

Но несмотря на такую высочайшую антибактериальную эффективность фагов, бактерии все же не исчезли с лица планеты. Дело в том, что в течение многих миллионов лет шла совместная эволюция этих организмов, которую было бы точнее назвать «гонкой вооружений». Благодаря мутациям фаги «изобретали» все новые средства и приемы ведения войны, а бактерии, в свою очередь, хитроумные средства защиты.

Например, ДНК всех бактерий несет на себе особые метки (метилированные основания), и специальные бактериальные ферменты рестрикции расщепляют любую ДНК, на которой таких меток нет, в том числе и фаговую. Однако некоторые фаги научились имитировать такие метки и таким способом обходить защиту.

Еще один защитный механизм бактерий – изменение поверхностных рецепторов: в этом случае фаг просто не может узнать «свою» бактерию. В ответ на это появляются фаги, несущие измененные узнающие элементы, которые способны связываться с новыми бактериальными рецепторами. Имеется несколько механизмов подобной модификации генетических программ у фагов и бактерий. Мутации могут возникать случайно, в ходе генетического копирования. Кроме того, с помощью рекомбинации (генетического перераспределения) разные виды фагов могут обмениваться фрагментами своего генома и даже захватывать фрагменты генома бактерий.

К слову сказать, с точки зрения медицины, изменение рецепторов болезнетворной бактерии может быть

В процессе совместной эволюции фаги сформировали механизм преодоления бактериальной защитной системы рестрикции, ферменты которой расщепляли фаговую ДНК, которая не несет характерных для бактериальной ДНК меток (метилированных оснований) (а). Фаги, несущие метилированную ДНК, способны успешно инфицировать бактерию (б)

благом для человека, поскольку именно бактериальные рецепторы служат факторами вирулентности, определяющими выживание и размножение возбудителя в организме-хозяине. И устойчивые к фагу мутанты обычно являются менее патогенными по сравнению со своими предшественниками.

Фаготерапия: сквозь тернии

Открытие вирусов, убивающих бактерии, дало начало новому способу контроля за численностью бактерий. Самое очевидное приложение – фаготерапия, применение бактериофагов для лечения бактериальных инфекций человека. Ее преимуществом является крайняя специфичность фагов, поражающих только «избранные» болезнетворные агенты.

В медицинских целях бактериофаги были впервые применены в 1915 г., когда один из их первооткрывателей, Ф. д'Эрель, использовал такой препарат для лечения дизентерии у детей. Однако дальнейшая история развития фаговой терапии была непростой. Дело в том, что предложения д'Эреля намного опередили свое

время, и долгие годы ему пришлось бороться за признание своего открытия. В том числе со знаменитыми французскими коллегами, которые не признавали точку зрения д'Эреля на природу этих бактерицидных агентов, считая их ферментами. Истина восторжествовала лишь в 1940-х гг., но задолго до этого, устав от борьбы, д'Эрель уехал работать в США.

В 1934 г. он приехал в Грузию, в Тбилиси, где к тому времени сложились уникальные возможности для развития фаговой терапии. Еще с 1918 г. там существовала лаборатория (впоследствии – институт) микробиологии, руководителем которой, Г. Элиава, был командирован в знаменитый Институт Пастера для освоения методик и приобретения оборудования. Именно там он и познакомился с д'Эрелем и его удивительным открытием.

Так у Элиавы родилась мечта создать в Тбилиси мировой центр исследования бактериофагов. Эта идея заинтересовала И. В. Сталина, и в 1930 г. было построено и оснащено здание будущего Института бактериофагов, микробиологии и вирусологии, который сейчас носит имя его основателя. Однако далее события развивались по сценарию, характерному для СССР тех лет: в 1937 г. Элиава вместе с женой был арестован и расстрелян как «враг народа», а д'Эрель вернулся в Париж. Однако сам институт не погиб и продолжал успешно функционировать.

С начала 1940-х гг. фаговая терапия начала применяться в странах Европы и США. Такие препараты получили миллионы пациентов, однако результаты лечения оказались противоречивы и невоспроизводимы. Реклама обещала чудеса, но их не было – сама идея фаготерапии была скомпрометирована. Причина заключалась в том, что в то время не только производители препаратов, но и сами ученые не располагали необходимыми знаниями о свойствах фагов и о механизме их действия, да к тому же не имелось и надежных технологий работы с вирусами.

Неудачи следовали за неудачами, поэтому неудивительно, что аптекари и врачи вздохнули с облегчением с появлением антибиотиков. Эти относительно дешевые, с широким спектром антибактериальной активности, хорошо хранящиеся химические вещества, казалось, радикально решили проблему лечения инфекционных заболеваний. Бактериофаги на Западе были забыты на много лет. Основанная д'Эрелем французская компания по выпуску коммерческих фаговых препаратов переключилась на другие проекты (на ее основе выросла знаменитая косметическая компания L'Oreal).

Исследования фагов продолжались только в СССР, Польше и Чехословакии. Самым большим производителем фаговых препаратов был грузинский институт, созданный Элиавой: к 1980-х гг. там работало около 1200 человек, а препараты рассылались для испытаний

в клиниках по всему СССР. Производство бактериофагов было организовано также в Уфе и Горьком.

Кстати сказать, в прекращении работ с бактериофагами за рубежом, помимо успеха антибиотиков, большую роль сыграл и политический аспект. Ведь фаговая терапия развивалась в СССР, и западным ученым было политически «неправильным» работать по тематике, связанной с именем Сталина. К тому же это были времена лысенковщины, когда западная наука воспринимала со скептицизмом все, что делалось советскими биологами.

Коктейли из фагов

Новый виток интереса к фаговой терапии пришел на последние годы. Дело в том, что антибиотики тоже не стали панацеей при лечении бактериальных инфекций: в наши дни разработка новых препаратов не поспевает за ростом числа бактерий с приобретенной устойчивостью к существующим антибиотикам. Уже сегодня в госпиталях Англии около 40 % стафилококковых инфекций вызвано такими штаммами, а в США от госпитальных инфекций, вызванных лекарственно устойчивыми бактериями, ежегодно умирает около 90 тыс. пациентов. При пересчете на население Земли это число составляет 3–5 млн смертей в год!

ВОЗ предупреждает, что мир вскоре вступит в «постантибиотиковую» эру, когда лечить обычные бактериальные инфекции будет нечем. И на этом фоне фаготерапия выглядит весьма перспективным направлением, развитие которого может привести к созданию эффективных персонализированных методов лечения заболеваний. Для этого есть как необходимые знания о фагах и механизмах их взаимодействия с бактериальными клетками, так и технологии работы с вирусными агентами.

Для фаговой терапии сегодня используют только вирулентные лизирующие фаги, в основном «хвостатые» фаги порядка Caudovirales, а также нитчатые фаги семейств Leviviridae (с одноцепочечным РНК-геномом) и Inoviridae (с одноцепочечным кольцевым ДНК-геномом).

Как говорилось выше, спектры активности фагов обычно очень узки и ограничены одним или несколькими близкородственными видами бактерий. С одной стороны, такая узкая специфичность хороша для терапии, поскольку позволяет устранить конкретный микроорганизм, не нарушая всего бактериального сообщества человеческого организма. С другой стороны, при необходимости экстренного лечения (когда нет времени для выявления конкретной бактерии, вызывающей развитие болезнетворного процесса в ране или на обожженной поверхности) необходимо иметь препарат, поражающий сразу несколько видов

бактерий, возможных возбудителей инфекции. Для решения этой проблемы обычно используют коктейли фагов – препараты, содержащие несколько фагов, отличающихся по специфичности.

Такой подход использовал еще д'Эрель. Коктейль д'Эреля, привезенный им из Парижа еще в 1930 г., до сих пор является одним из основных фаговых препаратов: он лежит в основе грузинского пиофага и российского интестифага. В Тбилиси на основе фаговых коктейлей разрабатывались препараты для лечения желудочно-кишечных заболеваний и гнойных ран для массового применения в случае возникновения эпидемий или военных действий. Результаты армейских испытаний и широкого эксперимента по предотвращению детских желудочно-кишечных расстройств, проведенного в Тбилиси, показали хорошую эффективность таких препаратов.

Фаговые коктейли производятся стандартными, и ориентированы они на сообщества бактерий, часто встречающиеся при конкретных заболеваниях. Конечно, более эффективные коктейли получаются в том случае, когда их компоненты подбирают к бактериальному сообществу конкретного пациента. Для получения такого коктейля необходимо протестировать бактерии пациента на чувствительность к фагам из коллекции, чтобы подобрать наиболее эффективные фаговые штаммы. Если нужных фагов в коллекции не окажется, специфичные для бактерий фаги ищут в природных субстратах.

Вообще поиск бактериофагов довольно прост: на бактериальную культуру воздействуют образцами из различных источников: водоемов, почвы, канализационных стоков и т. п. Если бактерии погибают, их отделяют от раствора центрифугированием, а оставшийся раствор тестируют на активность. Затем фаг размножают, выращивая на соответствующей бактериальной культуре. Более того, фаги можно лиофилизировать (высушить в вакууме) и непосредственно использовать в капсулах. В таком виде препарат сохраняют стабильность в течение 14 месяцев при температуре до 55 °С.

Современная история

К настоящему времени самый большой опыт фаготерапии имеют специалисты из Тбилиси и специализированного центра Института иммунологии и экспериментальной терапии им. Л. Хиршфельда (Вроцлав, Польша), где в небольших количествах производятся препараты бактериофагов для испытаний.

Польские исследователи изначально делали акцент на персонализированную терапию. Они использовали фаготерапию для экспериментального лечения пациентов с хроническими заболеваниями, которым

не помогают антибиотики. Через центр прошли уже тысячи пациентов, многие из которых были полностью излечены.

Результаты этих клинических испытаний доказали высокую эффективность фагов при лечении инфекционных легочных заболеваний: для подавления инфекции в горле, носу и в легких достаточно однократного интраназального введения препарата. Не менее эффективно фаги элиминируют патогенные бактерии из желудочно-кишечного тракта. Высокая эффективность бактериофагов была также продемонстрирована практически во всех случаях гнойной язвы диабетической стопы, заболеваний легких, мастита, урогенитальных инфекциях. Список таких заболеваний можно продолжить, при этом важно отметить, что ни в одном из испытаний не наблюдалось каких-либо побочных эффектов, вызванных бактериофагами.

В Англии фаговые препараты были успешно испытаны для лечения хронического отита, трудно излечимого заболевания вследствие образования так называемых бактериальных биопленок – лекарственно-устойчивых микробных пленок. Во Франции – колыбели фаговой терапии – исследования в этой области сейчас почти не ведутся, хотя до последнего времени Институт Пастера делал фаговые коктейли на заказ.

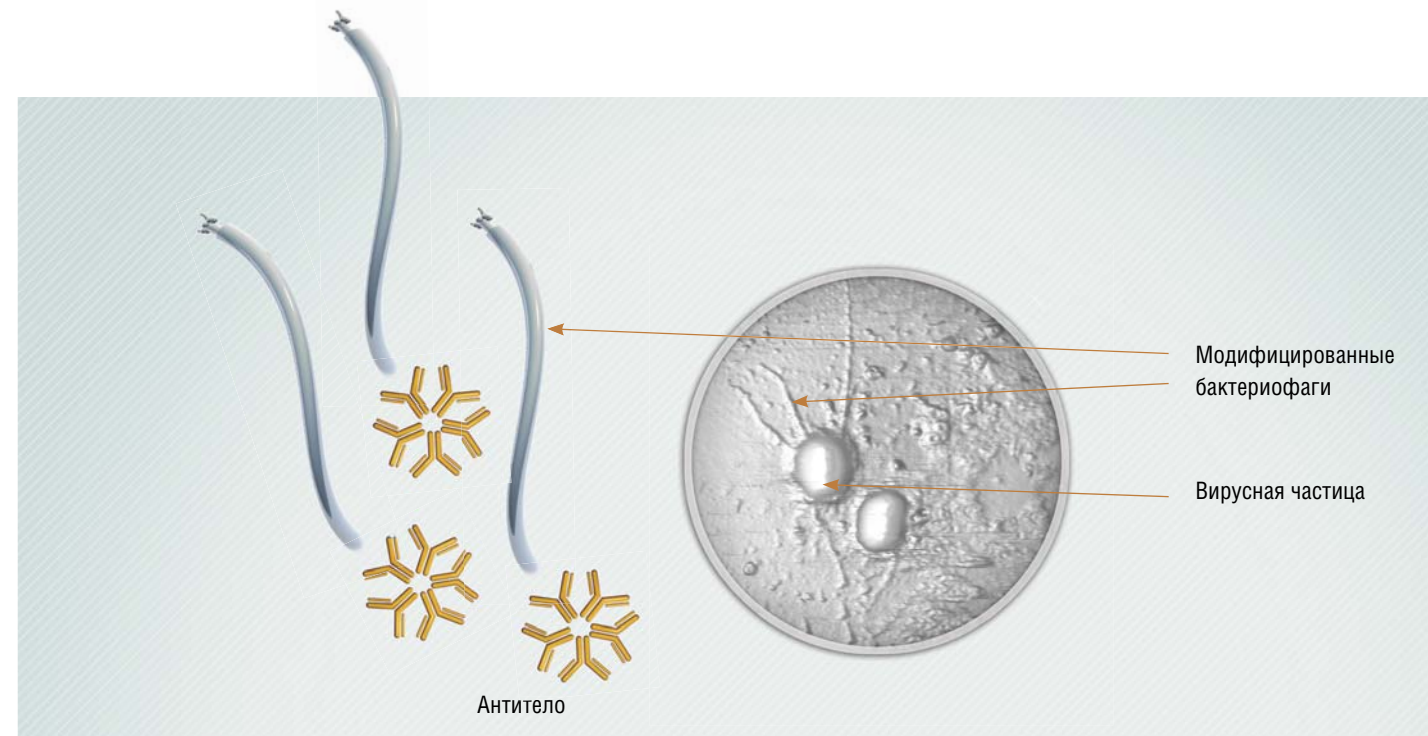
В промышленных масштабах фаговые препараты сегодня производит российская компания Микроген. Подобные лекарства можно купить в аптеках в России, Белоруссии и на Украине. Фаговые препараты производства Микроген и Тбилисского центра для лечения ожоговых инфекций были успешно испытаны и в Бельгии.

Тем не менее до сих пор в большинстве стран применение бактериофагов в терапии официально не разрешено: это касается как FDA, американского Управления по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных препаратов, так и аналогичных европейских

В качестве специфичных агентов, уничтожающих бактерии, бактериофаги сегодня находят применение в терапии заболеваний не только людей, но и животных, а также для защиты растений и при консервации пищевой продукции.

Так, в 2006 г. FDA разрешила применение бактериофаговых коктейлей для обработки мясных и других сельскохозяйственных продуктов. В этом случае фаги получили статус пищевых добавок. Они также были разрешены к применению в качестве средства дезинфекции.

Препараты фагов (в виде аэрозолей) были успешно испытаны в экспериментах по защите сельскохозяйственных птиц на крупных фермах, а также в рыболовческих хозяйствах



Сегодня фаги могут быть использованы не только напрямую в качестве бактерицидных агентов: их планируют применять в качестве носителей лекарственных препаратов, антител либо терапевтических химических соединений. *Вверху – фаги, несущие на своей поверхности антитела к вирусу осповакцины, атакуют этот вирус. Атомно-силовая микроскопия. Фото Г. Шевелев, Д. В. Пышный*

агентств. На территории Евросоюза фаги для лечения больных используют только в вышеупомянутом польском Институте иммунологии и экспериментальной терапии.

Поэтому лечение заинтересованных больных проводится в режиме медицинского туризма. Компания «Phage international» (Калифорния, США) направляет пациентов из разных стран, страдающих от хронических заболеваний, вызванных лекарственно устойчивыми бактериями, либо в Центр фаговой терапии в Тбилиси, либо в свою клинику в Мексике.

Выбираем фаги

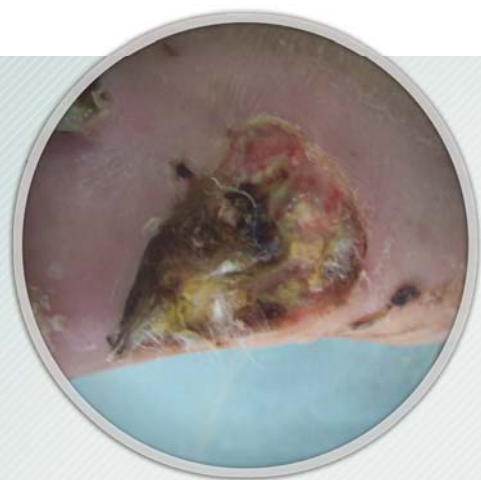
Почему же фаговая терапия до сих пор не нашла широкого применения? Ведь очевидно, что антибиотики должны быть препаратом выбора при остром, угрожающем жизни заболевании, когда нет времени для подбора специфичного агента. Зато при хронических инфекциях предпочтение следует отдать бактериофагам, как более дружественным агентам.

Среди причин, сдерживающих применения фагов в медицине, в первую очередь следует отметить скептическое отношение многих специалистов, особенно зарубежных. По сложившейся недоброй традиции западные исследователи, несмотря на свое отстава-

ние в этой области, до сих пор выражают недоверие к результатам исследований, в свое время успешно проводимых в СССР.

Но есть и более весомые причины, связанные с тем, что в бактериофагах не заинтересованы большие фармацевтические компании. Им нужны исключительные права на изобретения, но фаги – природные агенты, поэтому запатентовать их не так просто, а сама идея фаговой терапии опубликована давно. Кроме того, эти компании вложили огромные средства в производство антибиотиков, поэтому им не нужна конкуренция с дешевыми фаговыми препаратами.

Что касается самих врачей, то они стандартно обучены применять для достижения максимального эффекта антибиотики широкого спектра действия. При фаговой же терапии нужно иметь большой арсенал препаратов, каждый из которых нужно тестировать и подбирать индивидуально для каждого больного. Это в конечном счете приводит к значительному удорожанию такого персонализированного лечения. К тому же хотя люди продолжают умирать от заражения лекарственно устойчивыми бактериями, однако с экономической точки зрения, этот рынок не слишком велик, а лечение таких тяжелых больных чревато юридическими проблемами.



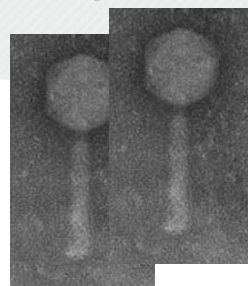
Бакпосев для выявления патогенного микроорганизма



Обработка раны фаговым препаратом



Подбор и наработка бактериофагов



В Новосибирской клинике проводится экспериментальное лечение диабетической стопы – грозного осложнения диабета, которое может привести к гангрене, потере конечности и инвалидизации больного. Инфекция является одним из факторов, вызывающих эту тяжелую патологию. При фаговой терапии диабетической стопы из больных тканей берут мазок для выявления конкретной бактерии-патогена. Затем из коллекции бактериофагов подбирают тот, который способен лизировать именно эту бактерию. Фаговый препарат наносят на стерильную салфетку, которую прикладывают к ране. Лечение длится около недели

Вместе с тем та же FDA сегодня признает, что благодаря своей высокоспецифичности и нетоксичности фаги помогают там, где альтернативные методы оказываются неэффективными. Поэтому FDA планирует выработать практические рекомендации по использованию литических фагов в терапии. Для этого необходимо секвенировать их геномы, определить безопасные условия культивирования, провести современное стандартное тестирование токсичности на животных. В случае использования фаговых коктейлей каждый их компонент должен быть охарактеризован. И, наконец, для доказательства эффективности этих препаратов необходимы контролируемые клинические испытания.

Кстати сказать, применение фагов в медицине может оказаться шире, чем это сегодня представляется. Так, современные технологии позволяют создавать фаги, производящие антибактериальные токсины, которые фаги будут доставлять непосредственно в бактери-

альную клетку. С помощью генетической инженерии сегодня можно заниматься настоящим дизайном фагов, например, получить фаги с измененной и расширенной специфичностью. Совершенно реалистичной задачей является и полный синтез фаговых геномов.

Уже испытываются в качестве противобактериальных средств отдельные компоненты фагов и вещества, используемые ими для поражения бактерий. Например, бактериоцины, фрагменты хвостовой структуры фагов, которые повреждают клеточную стенку бактерий, образуя в ней поры, что приводит к быстрой потере важных для клетки ионов и ее гибели.

Также разрабатываются подходы к применению фагов в качестве носителей лекарств – антител или химических терапевтических препаратов. На одну фаговую частицу можно присоединить до тысячи молекул антител и до нескольких тысяч молекул антибиотика. А благодаря присоединению к поверхности

АНТИБИОТИКИ

Достоинства:

широкий спектр действия;
простота патентования

Недостатки:

разрушают собственную микрофлору организма, что создает угрозу вторичных инфекций;
не способны концентрироваться в области инфекционного поражения;
вызывают побочные эффекты: аллергии, кишечные расстройства и т. д.;
приводят к возникновению бактериальных штаммов с лекарственной устойчивостью;
создание новых антибиотиков – длительный и дорогостоящий процесс

БАКТЕРИОФАГИ

Достоинства:

специфичность действия, для любой бактерии можно найти убивающий ее бактериофаг;
поиск нового фага занимает несколько дней или недель;
производство недорогое и экологически чистое;
не вызывают дисбактериоза;
не токсичны и не вызывают побочных эффектов;
после уничтожения патогенного агента элиминируются из организма

Недостатки:

слишком высокая избирательность – для гарантии успеха лечения нужно идентифицировать патоген;
патентование затруднено из-за многообразия агентов

бактериофагов молекул полиэтиленгликоля удастся получать фаги, способные долгое время циркулировать в кровотоке. Кроме того, фаги, несущие на поверхности определенные пептидные антигены, можно использовать в качестве вакцин.

Очевидно, что в XXI в. стимуляция дальнейшего развития фаготерапии должна стать делом государственным. Необходимо создать все условия для создания и поддержания коллекции фагов против устойчивых к антибиотикам патогенов. Что касается всевозможных разрешительных документов, то есть простое решение проблемы: рассматривать фаговые препараты наравне с вакцинами от гриппа. Ведь каждый год готовятся живые противогриппозные вакцины, представляющие собой коктейли нескольких вирусных штаммов, при этом их состав постоянно меняется. И разрешение распространяется на все эти вирусные коктейли, – а чем хуже фаги?

В России сегодня сложилась уникальная ситуация: фаговая терапия у нас разрешена, производится широкий ассортимент «индивидуальных» фаговых препаратов и фаговых коктейлей. Почему же их так редко применяют? Главным образом по причине уже упоминавшейся необходимости персонализированного подхода при фаготерапии. Ведь стандартные фаговые препараты не гарантируют результата, а если препарат не срабатывает, то это не только разочаровывает лечащего врача, но и в случае острого заболевания создает рискованную ситуацию для пациента.

Выход в данной ситуации очевиден: нужно обязательно тестировать бактерии пациента на восприимчивость к фаговому препарату. Это можно делать лишь в хорошо оборудованных центрах, располагающих коллекциями фагов и лабораториями для микробиологического тестирования. Если сеть таких центров будет создаваться в рамках планируемого развития персонализированной медицины, то у нашей страны будут все шансы попасть в лидеры этого важнейшего биомедицинского направления.

Литература

Козлова Ю. Н., Репин В. Е., Анищенко и др. Штамм бактериофага *Pseudomonas aeruginosa*, используемый в качестве основы для приготовления асептического средства против синегнойной палочки // Патент RU 2455355 C1. 2011.

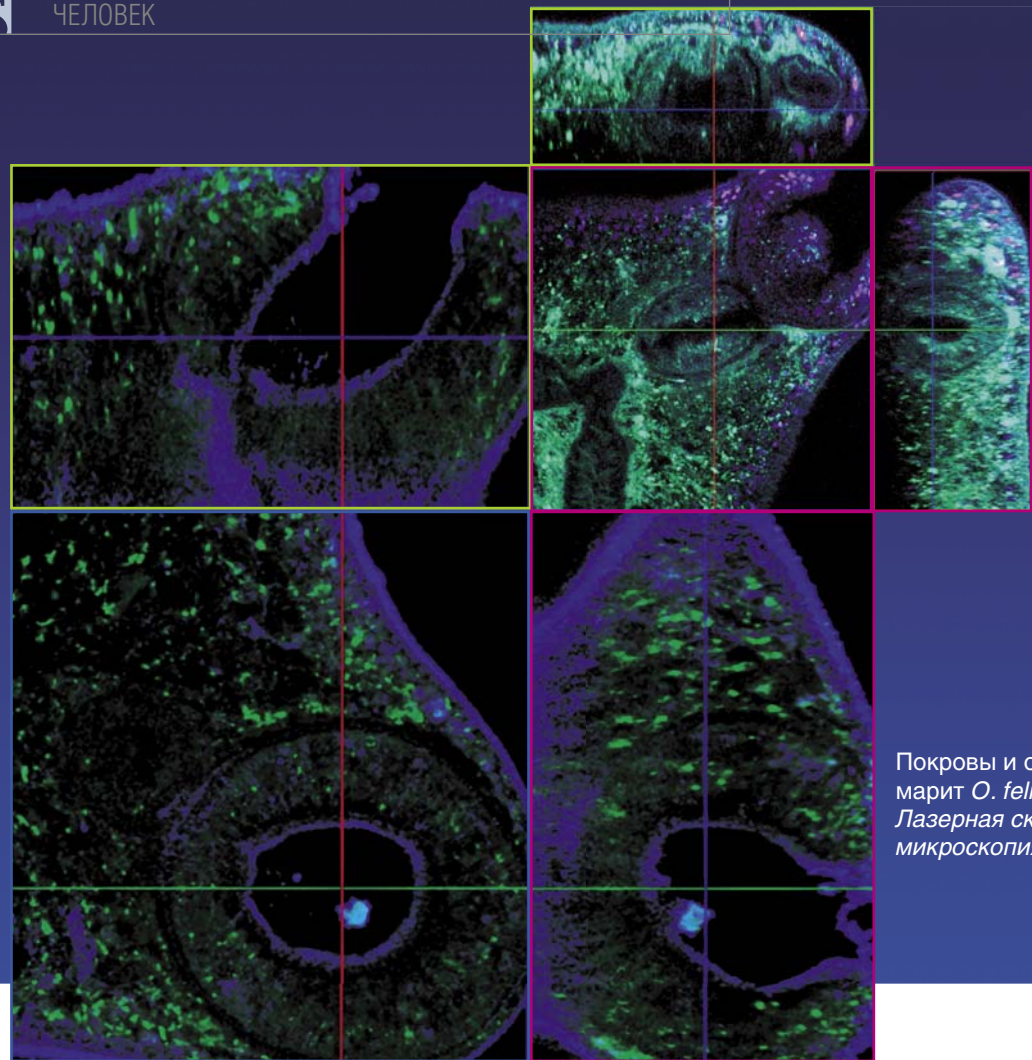
Тикунова Н. В., Морозова В. В. Фаговый дисплей на основе нитчатых бактериофагов: применение для отбора рекомбинантных антител // Acte Naturae. 2009. № 36. С. 6–15.

Kropinski A., Lingohr E., Moyles D. et al. Endemic bacteriophages: a cautionary tale for evaluation of bacteriophage therapy and other interventions for infection control in animals // Virology J. 2012. V. 9. P. 207–215.

Miedzybrodzki R., Borysowski J., Weber-Dabrowska B. et al. Clinical aspects of phage therapy // Advances in virus res. 2012. V. 83. P. 73–121.

Summers W. Bacteriophage therapy // Annu. Rev. Microbiol. 2001. V. 55. P. 437–451.

Работа была поддержана АНО «Центром Новых Медицинских Технологий» в Академгородке (Новосибирск)



Покровы и отдельные органы мари *O. felineus*. Лазерная сканирующая микроскопия

Кроме Обь-Иртышского бассейна среди неблагополучных по этому гельминтозу регионов числятся Казахстан, страны Восточной Европы и Юго-Восточной Азии. Кроме того, периодически описторхов обнаруживают на территориях, ранее полностью свободных от этого паразита: он расширяет свою область обитания, «захватывая» все новые районы.

Учитывая широкую географию распространения паразита, для специалистов представляет несомненный интерес выяснить, существуют ли генетические различия, характеризующие популяции из разобщенных зон его ареала. Эти, с первого взгляда, сугубо теоретические исследования имеют и выраженный прикладной аспект. Поскольку именно генетические отличия между паразитами могут обуславливать такие значимые медицинские характеристики, как разнообразие клинических проявлений заболевания, разную вероятность формирования лекарственной устойчивости у паразита, а также его различную иммуногенность (способность вызывать выработку специфических антител). Все эти сведения будут полезны для прогнозирования течения заболевания и формирования иммунного ответа у за-

раженного человека, а также для разработки диагностических средств и создания вакцин.

Именно такое комплексное исследование проблемы описторхоза и его возбудителей проводится с 2005 г. в Институте цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск). Работа по анализу популяционно-генетической структуры гельминтов началась с формирования уникальной коллекции описторхов из разных географических зон – Западной Сибири, европейской части России и Северного Казахстана. На сегодня в ней представлено около 300 образцов *Opisthorchis felineus* – основного возбудителя описторхоза в нашей стране, и около 300 других видов описторхид, включая эпидемиологически значимые.

Метод как основа

Для оценки генетического разнообразия гельминтов из разных мест обитания был использован метод сравнительного анализа геномных маркеров, в качестве которых выступают фрагменты ДНК. Этот метод, широко использующийся в современной молекуляр-

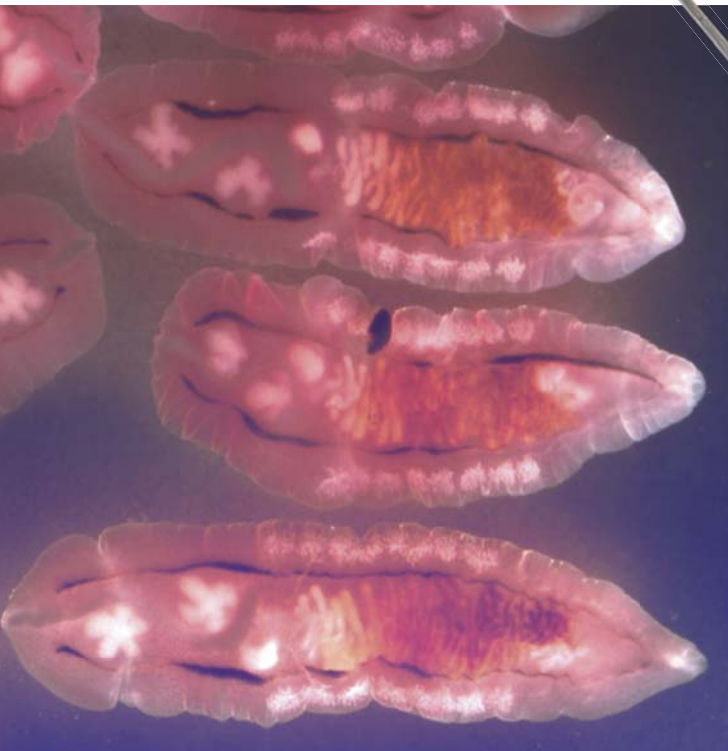


Первым промежуточным хозяином паразитических трематод семейства Opisthorchiidae являются пресноводные улитки битинии. Внутри инфицированных улиток из яиц паразита выходят личинки трематод, которые проходят ряд стадий развития, формируя в конечном счете церкарии. Эти подвижные личинки покидают своего хозяина и выходят в водную среду, где через наружные покровы поражают второго промежуточного хозяина – пресноводных рыб семейства карповых. В мышцах рыбы личинки покрываются оболочкой, превращаясь в метацеркарии. Потребляя такую зараженную рыбу, инфицируется конечный хозяин паразита – млекопитающее, в том числе и человек (в случае экспериментального заражения метацеркарии, выделенные из зараженной рыбы, скармливают лабораторным животным – золотистым хомячкам). В печени и желчных протоках млекопитающего из метацеркарий образуются мариты – взрослые половозрелые особи. Производимые ими яйца вместе с фекалиями попадают в окружающую среду – цикл замыкается

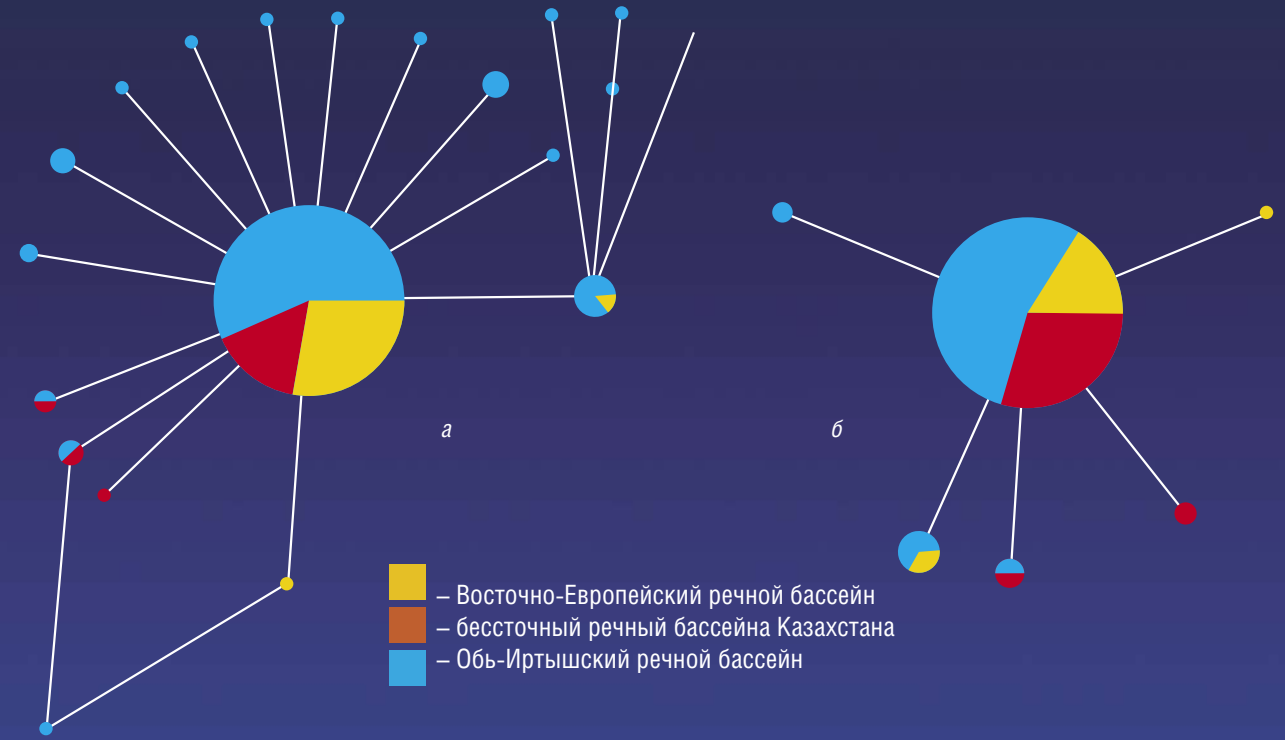
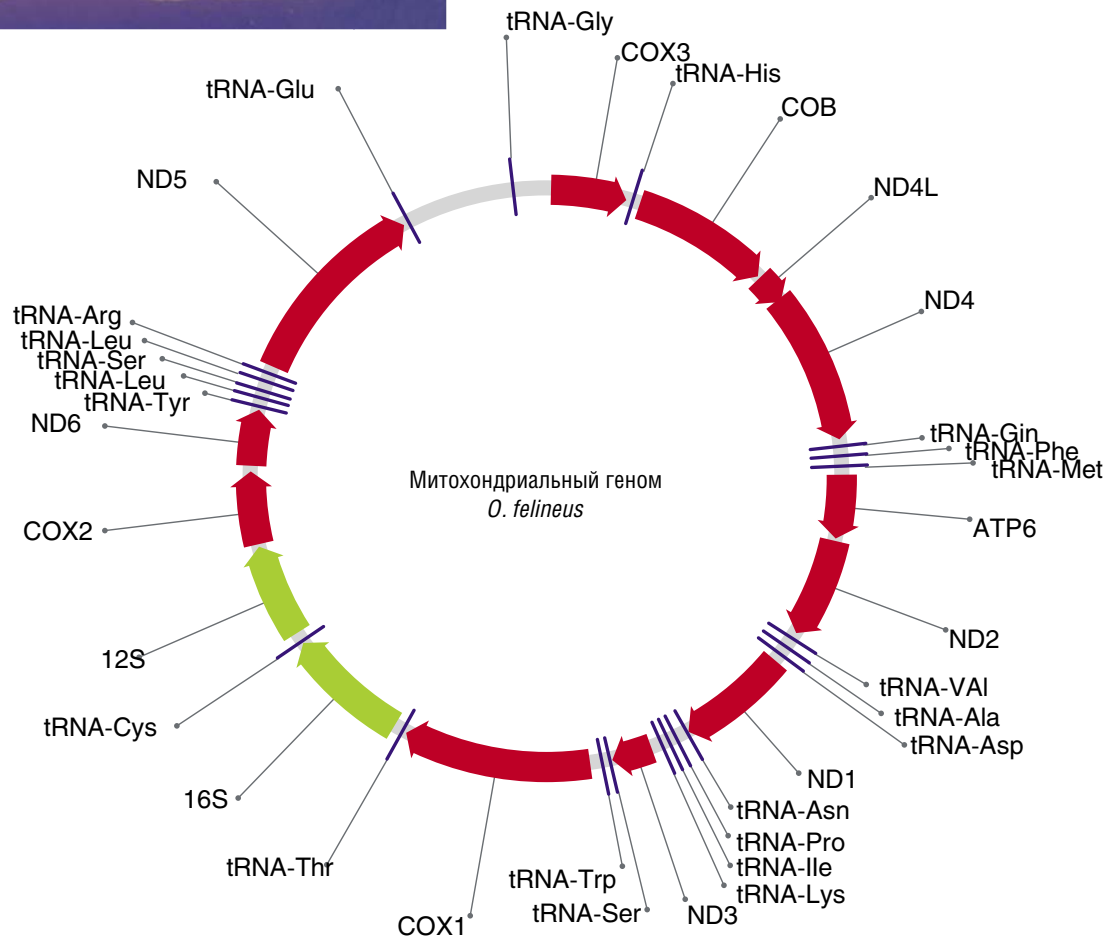
ной биологии, позволяет достаточно надежно судить о степени родства как отдельных индивидов, так и их групп. Поэтому его используют для определения близкородственных видов и реконструкции их эволюционной истории.

В качестве собственно маркеров обычно выступает не вся последовательность выбранного участка ДНК, а имеющиеся в ней однонуклеотидные полиморфизмы, т.е. одиночные «буквы» генетического кода, которые могут различаться у сравниваемых последовательностей ДНК. Частота возникновения таких однонуклеотидных замен (мутаций) по случайным причинам очень низка и составляет лишь $\sim 10^{-8}$ – 10^{-12} на клетку за поколение. Поэтому в качестве геномных маркеров выбирают участки генома с высокой скоростью накопления мутаций, а это характерно для тех из них, которые по тем или иным причинам не попадают под действие отбора, т.е. селективно нейтральны.

Этому требованию отвечают не кодирующие белок последовательности ядерной ДНК, а также собственная ДНК клеточных органелл – митохондрий. Последняя наследуется строго по материнской линии с цитоплазм-



В ИЦиГ СО РАН (Новосибирск) впервые секвенирован ряд фрагментов ядерного генома и полный митохондриальный геном *O. felineus*, в состав которого входит 12 белок-кодирующих генов, 2 гена рибосомальной РНК и 22 гена транспортной РНК. Для генотипирования коллекционных образцов описторхид были выбраны в качестве генетических маркеров два митохондриальных и один ядерный фрагменты ДНК. Слева вверху – мариты, взрослые половозрелые особи *O. felineus*



Генетическое сходство между разными географически разобщенными популяциями *O. felineus* было изучено с использованием двух митохондриальных генетических маркеров (cox1 и ITS1; а и б соответственно). Оказалось, что на всей обследованной территории вид выглядит генетически однородным: более 70 % наборов однонуклеотидных полиморфизмов (на рис. – центральный круг) встречаются во всех без исключения изученных популяциях. Остальные полиморфизмы (на рис. – малые круги), составляющие менее трети от общего числа, выборочно представлены в отдельных популяциях

мой яйцеклетки и не участвует в рекомбинационном процессе (обмене участками хромосом при клеточном делении). Скорость накопления нейтральных мутаций в митохондриальных генах в 5–10 раз выше, чем в генах ядерной ДНК.

Принято считать, что число накопленных однонуклеотидных замен в селективно нейтральных участках ДНК линейно зависит от времени. Следовательно, произведя подсчеты этих замен, можно получить приблизительную датировку эволюционных событий.

Чтобы обнаружить видоспецифичные геномные маркеры, геном сначала нужно секвенировать («прочитать» нуклеотидную последовательность). Поэтому первоочередной задачей исследователей стало секвенирование некоторых фрагментов ядерной ДНК и полного митохондриального генома *O. felineus*, что было сделано в ИЦиГ СО РАН в ходе выполнения комплексного проекта по исследованию описторхид.

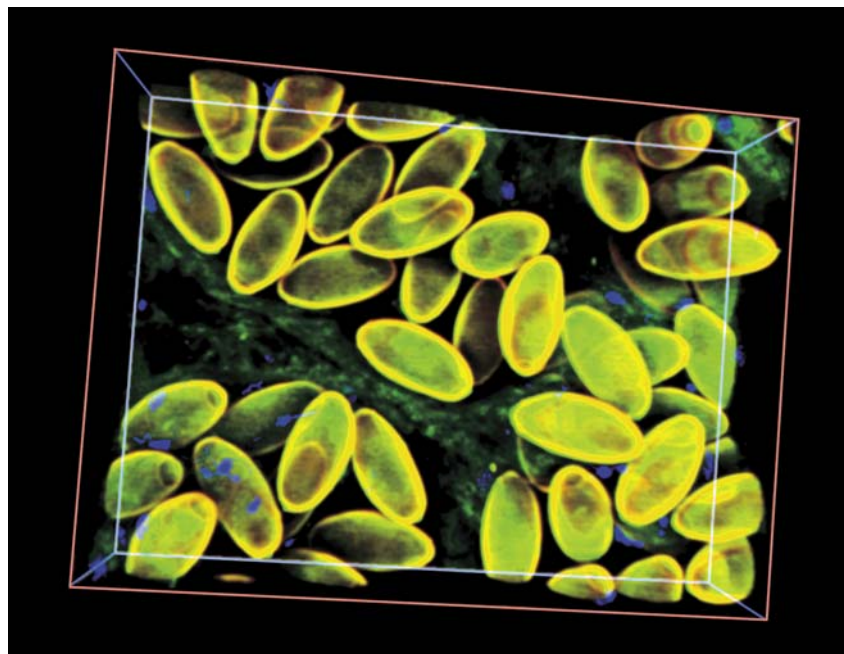
В результате было найдено восемь подходящих генетических маркеров, из них три (два митохондриальных и один ядерный) были выбраны для генотипирования

коллекционных образцов описторхид. Нужно добавить, что хотя в последнее десятилетие аналогичные маркеры использовались при исследовании популяционной структуры и филогеографии других паразитических трематод в Европе, Восточной и Юго-Восточной Азии, Африке, и Америке, исследования такого рода в отношении *O. felineus* ранее не проводились.

«Бутылочное горлышко» оледенения

С помощью разработанных в ИЦиГ СО РАН геномных маркеров удалось навести «порядок» в семействе описторхид, куда входят два близкородственных вида – вышеупомянутый *O. felineus* и *Clonorchis sinensis*, вызывающий клонорхоз, очень схожее с описторхозом заболевание. Оказалось, что расхождение от гипотетического общего предка этих двух видов произошло примерно 3 млн лет назад.

Последующая эволюционная история *O. felineus*, по-видимому, была весьма драматичной. Дело в том, что



Под микроскопом яйца разных видов описторхид практически неразличимы между собой, поэтому диагностика паразита по результатам микроскопического анализа лабораторного материала от зараженных людей носит субъективный характер. Слева – трехмерная реконструкция яиц описторха в дистальной части матки паразитической трематоды. Лазерная сканирующая микроскопия

ранее было высказано предположение о существовании трех подвидов описторха – сибирского, казахского и восточно-европейского, обитающих соответственно в Обь-Иртышском и Енисейском, Нура-Сарысуком, Волжском, Донском и Уральском речных бассейнах (Безр, 2005). Поэтому ожидалось, что коллекционные образцы из столь разнесенных в пространстве популяций продемонстрируют заметные генетические различия, поскольку экологические условия обитания также значительно разнятся. Но вопреки предположениям исследованные выборки описторхов характеризовались крайне низким генетическим разнообразием, в отличие от других уже изученных видов трематод (Брусенцов и др., неопубликованные данные).

Что же послужило причиной такого удивительного генетического однообразия описторхов? Очевидно, оно явилось следствием резкого сокращения численности единственной предковой популяции *O. felineus*, уцелевшей в Евразии после волны плейстоценовых оледенений. Оледенения сопровождались уменьшением мест обитания промежуточных хозяев описторха – пресноводных моллюсков и рыб, и снижением их зараженности, которая в то время составляла не больше 2 % (Безр, 2005). Такое явление – прохождение популяции сквозь фазу критически низкой численности известно под образным названием «бутылочное горлышко»; следствием его обычно бывает резкое обеднение популяционного генофонда.

С наступлением потепления и формированием новых речных бассейнов последовало восстановление численности предковой популяции. Согласно расчетам, 21–25 тыс. лет назад в истории вида начался (и продол-

жается до сих пор) период демографического взрыва, которому, вероятно, в немалой степени способствовал факультативно гермафродитный способ размножения описторха.

Нужно заметить, что у вышеупомянутых других видов трематод с аналогичным способом размножения было выявлено значительно более высокое генетическое разнообразие. Однако относительная «обедненность» генофонда *O. felineus* не помешала этому виду восстановить и успешно расширить свой ареал.

К сожалению, проведенное исследование не дает возможности точно указать локализацию предковой популяции и проследить пути расселения паразита. Но, учитывая сложный жизненный цикл *O. felineus*, представляется очевидным, что направление и скорость его экспансии определялись миграционными способностями его хозяев. Тот факт, что описторхоз сегодня распространен только в некоторых географических зонах, во многом обусловлен средовыми предпочтениями его первого промежуточного хозяина – пресноводных моллюсков битиний, которые в морской воде погибают. Однако одним из окончательных хозяев описторха является человек, для которого географические изолирующие барьеры практически отсутствуют.

В одной пробирке

С помощью метода генетических маркеров удалось решить и актуальную медицинскую задачу точной видовой идентификации описторхид. Дело в том, что, наряду с описторхом, в России, а также в Казахстане и странах Восточной Европы встречается еще

один эпидемиологически значимый вид – меторх (*Metorchis bilis*). А на Дальнем Востоке – еще и клонорх (*C. sinensis*), о котором упоминалось выше, обычный для стран Юго-Восточной Азии.

Все эти трематоды вызывают заболевания с очень сходной клинической картиной, поэтому на основе одних лишь симптомов врач не может поставить точный диагноз. Под микроскопом же яйца этих гельминтов практически неразличимы между собой, так что результат микроскопического анализа фекалий или содержимого двенадцатиперстной кишки, взятого при дуоденальном зондировании, во многом зависит от квалификации лаборанта. Ситуацию усугубляет возможность одновременного заражения разными видами описторхид.

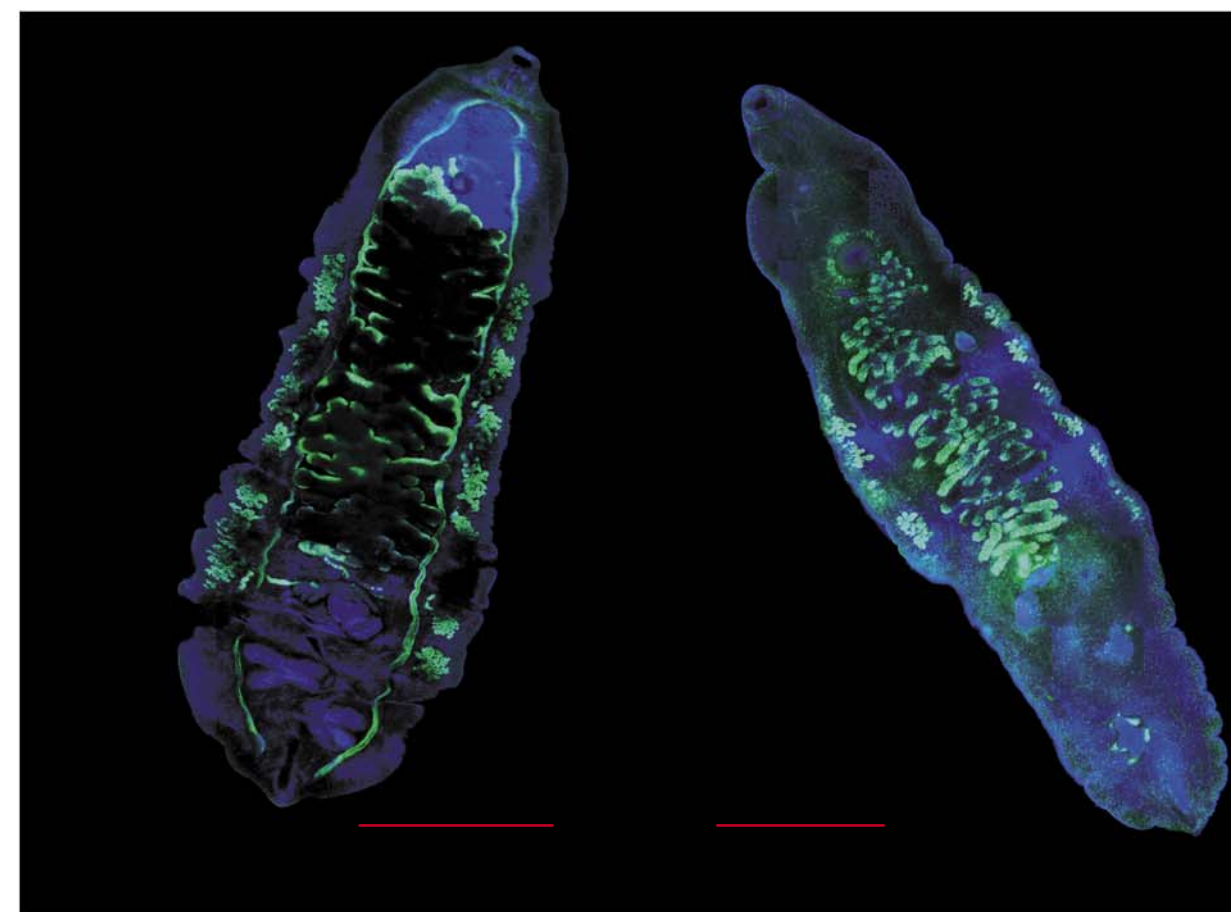
Сегодня наиболее точной является ДНК-диагностика трематодозов. За рубежом такие эффективные тест-системы начали интенсивно разрабатываться еще в 1990-е гг. Российские ученые начали подобную работу позже, но в последние годы и у нас, в частности в ИЦиГ СО РАН, активно идет процесс создания ПЦР-диагностик, с помощью которых можно выявлять в лабо-

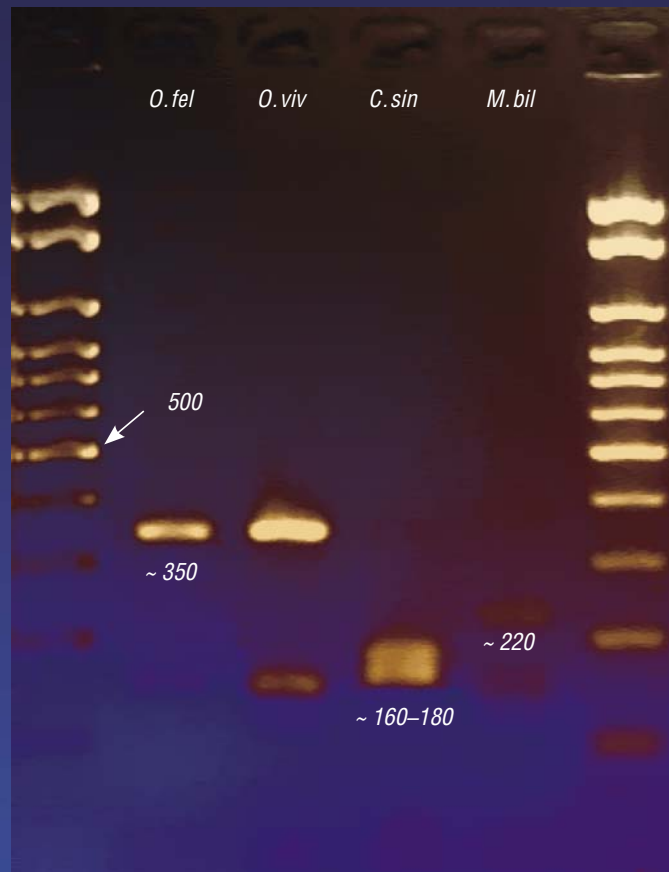
раторном материале генетические фрагменты, строго специфичные для определенного вида возбудителя. Поскольку метод позволяет использовать одновременно генетические маркеры на разных гельминтов, для точной диагностики паразитических агентов достаточно одного анализа.

Установление вида паразита может иметь большое значение. Например, оно позволяет определить источник и место заражения. Но самое главное – возбудители описторхоза – меторхоза и клонорхоза различаются по ряду биологических характеристик, что может влиять на течение и прогноз заболевания, возникновение осложнений и степень чувствительности паразитов к лекарственным препаратам.

Так, недавно в эксперименте на золотистых хомячках было показано, что два вида описторхид – наш

Эти два вида паразитических трематод – *O. viverrini* (слева) и *O. felineus* (справа) – являются основными возбудителями описторхоза. Взрослые особи паразитируют в печени и желчных протоках инфицированных людей. Лазерная сканирующая микроскопия





Среди методов диагностики трематодозов сегодня наиболее точной является ДНК-диагностика. В ИЦиГ СО РАН на основе ряда генетических маркеров уже разработаны наборы для дифференциальной ПЦР*-диагностики возбудителей болезни. Слева – результаты электрофоретического разделения в агарозном геле продуктов ПЦР, полученных при амплификации ДНК четырех эпидемиологически значимых видов описторхид: *O. felineus*, *O. viverrini*, *C. sinensis* и *M. bilis*. Цифрами указана молекулярная масса фрагментов

* ПЦР – полимеразная цепная реакция, позволяющая получить большое число копий исходного фрагмента ДНК

O. felineus и *O. viverrini*, встречающийся в странах Юго-Восточной Азии, различаются по агрессивности воздействия на организм хозяина (Lvova et al., 2012). Кстати сказать, в той же Юго-Восточной Азии помимо высокопатогенной *O. viverrini* широко распространена еще одна похожая трематода – *Haplorchis taichui*, заражение которой не вызывает тяжелого заболевания (Lovis et al., 2009). Этот пример показывает, насколько важна дифференциальная диагностика трематодозов для назначения адекватного лечения.

Кроме того, даже при низкой степени зараженности хроническая инвазия описторхидами может приводить к серьезным последствиям для здоровья. Однако, как правило, врачи бессильны обнаружить яйца описторхид в лабораторном материале таких пациентов с помощью обычной световой микроскопии, и диагноз зачастую ставится только посмертно (Müller et al., 2007). ПЦР-диагностика же является в этом случае гораздо более чувствительным методом.

Итак, несмотря на свою драматическую эволюционную историю, паразитическая трематода *O. felineus* не только выжила, но, даже потеряв часть своего генофонда, сегодня является весьма процветающим видом с высокими адаптационными способностями, в том числе высокой инвазионностью – способностью внедряться в организм хозяина.

Разработанные новосибирскими учеными наборы для ПЦР-диагностики описторхоза прошли стадию лабораторных испытаний, сейчас завершается их тестирование на клиническом материале. С их помощью уже удалось успешно выявить у группы пациентов случаи смешанных трематодных инвазий (Brusentsov et al., 2010), что, несомненно, говорит о необходимости их включения в арсенал методов лабораторной диагностики описторхоза. Ведется разработка производственной технологии выпуска диагностикомов.

Тем не менее методы ДНК-диагностики гельминтозов еще не стали рутинной медицинской практикой. Пока наиболее широко распространена серологическая

диагностика, в частности, иммуноферментный анализ (ИФА), для которого производится ряд коммерческих наборов. Принцип этого метода основан на выявлении в сыворотке крови пациента антител, специфичных к антигенам паразита. Слабым местом ИФА являются его низкая чувствительность и специфичность: он плохо работает в случае небольшой концентрации антител; также можно получить и ложноположительный результат, если диагностический антиген прореагирует с молекулярной мишенью, не являющейся «нужным» антителом.

Повысить точность ИФА можно путем клонирования генов, кодирующих специфичные для описторха антигены. В ИЦиГ СО РАН уже получены такие генно-инженерные белки-антигены *O. felineus*, пригодные для создания диагностикомов нового поколения. Их можно использовать для детекции даже незначительного количества специфических антипаразитарных антител в сыворотке крови. Однако в медицинскую практику такие ИФА-диагностикомы поступят еще не скоро.

Внедрение новых диагностических технологий, несомненно, повлияет на качество лечения и продолжительность реабилитации пациентов. Этому есть много примеров, наиболее яркие из которых связаны с диагностикой бактериальных инфекций, перешедшей из чашек Петри в пробирки для ПЦР. Новые технологии не отменяют традиционные, но позволят намного повысить чувствительность и точность анализов, особенно в сложных клинических случаях.

Литература

- Юрлова Н.И. Обская болезнь описторхоз // Наука из первых рук. 2008. №2 (20). С. 12–21.
- Пальцев А.И. Системному заболеванию – системный подход // Наука из первых рук. 2008. №2 (20). С. 22–27.
- Колчанов Н.А., Мордвинов В.А. Паразитоз от А до Я // Наука из первых рук. 2008. №2 (20). С. 28–41.
- Безр С.А. Биология возбудителя описторхоза. КМК, 2005. 336 с.
- Брусенцов И.И., Катохин А.В., Сахаровская З.В. и др. ДНК-диагностика микст-инвазий *Opisthorchis felineus* и *Metorchis bilis* с помощью метода ПЦР // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2010. № 2. С.10–13.
- Менявцева Т.А., Ратнер Г.М., Стручкова С.В. и др. Иммуноферментный анализ в диагностике описторхоза. Сообщение 1. Разработка иммуноферментного метода определения IgM-антител к описторхозному антигену // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 1996. № 1. С. 41–43.

КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТА

Комплексные молекулярно-генетические исследования проблемы описторхоза и его возбудителей, проводимые новосибирскими учеными (при участии научных команд из других городов), – крупный и очень серьезный проект, включающий такую дорогую и в хорошем смысле амбициозную составляющую, как расшифровка генома описторха, возбудителя этого паразитоза в нашей стране.

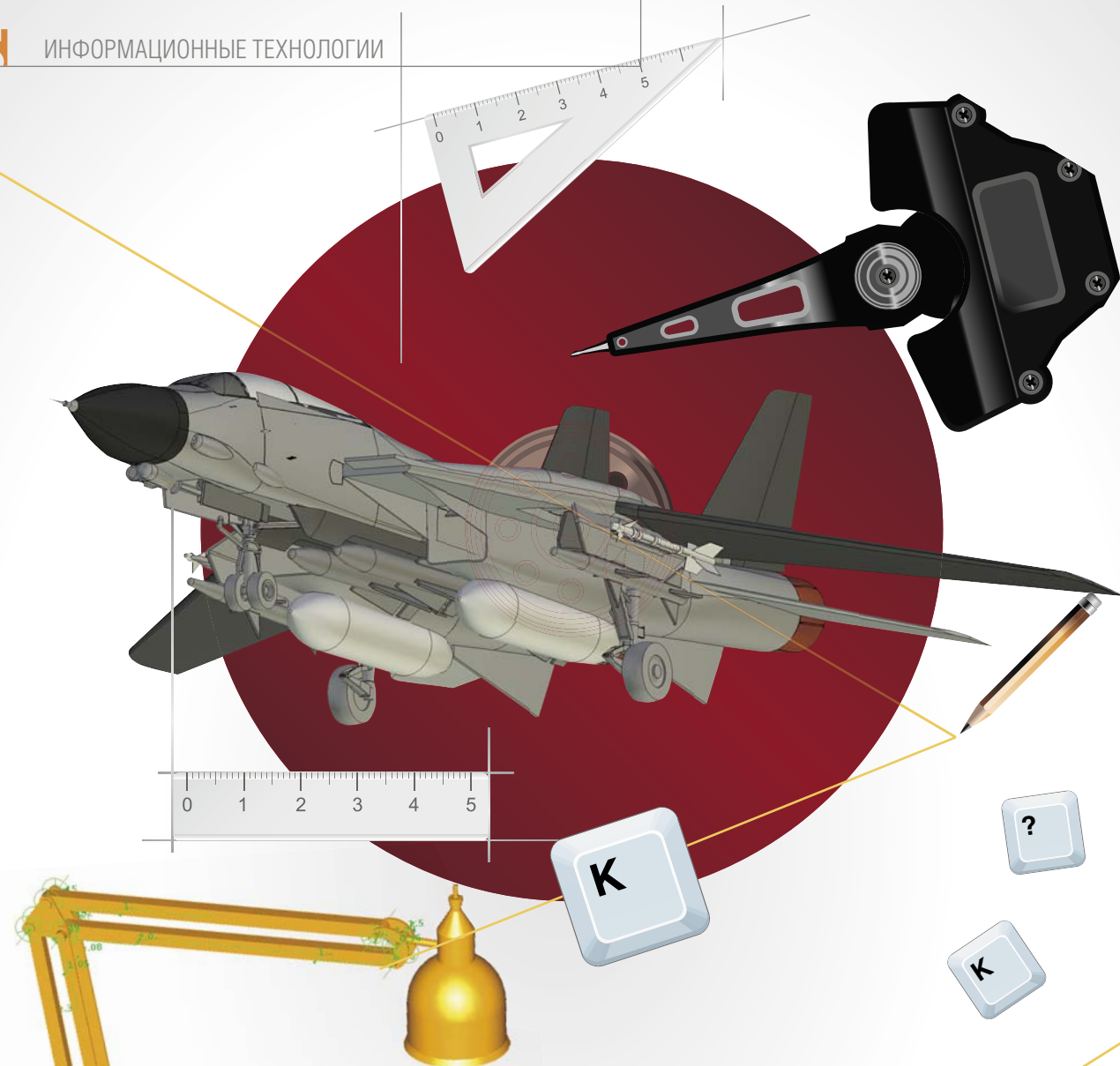
Нужно отметить, что получение нового диагностического инструмента – это далеко не единственный среди всех возможных практический выход этого проекта. Полученные в ходе проекта знания о молекулярно-генетическом разнообразии паразита в дальнейшем должны стать основой для выявления терапевтических мишеней лечения описторхоза – проблемы, еще более актуальной, чем его точная диагностика. Ведь сейчас при медикаментозной терапии описторхоза практически используется единственный препарат – празиквантел, который имеет ряд негативных побочных эффектов.

Но, безусловно, нельзя умалять и значение нового, высокоспецифичного и чувствительного метода, благодаря которому врач может точно выявить возбудителя заболевания и своевременно назначить соответствующее лечение. Используемые сегодня для диагностики описторхоза методы копроовоскопии (анализ кала на яйца глистов) требуют высокого уровня подготовки лаборантов, и специалистов такого уровня действительно мало. ДНК-диагностика требует более сложного оборудования, но при этом позволяет уменьшить влияние на результат “человеческого фактора”. Для широкого применения ДНК-диагностики требуется решить задачу выделения ДНК из клинического материала (фекалий). Эта проблема тоже была решена в ходе выполнения проекта.

Безусловно, существуют методы выявления антител к описторхозу методом ИФА. Но не совсем корректно сравнивать два разных метода диагностики – ПЦР и ИФА, которые, по сути, являются (или должны стать) составляющими одного диагностического процесса. ИФА в большей степени подходит для контроля лечения, поскольку позволяет вести мониторинг активности иммунной системы, ПЦР же – для скрининга, первичного выявления заболевания.

Важность наличия точного диагностического инструмента в том, что во многих случаях описторхоз протекает бессимптомно. А поскольку доказано, что одним из тяжелейших последствий описторхоза может быть холангиокарцинома – злокачественная опухоль желчных протоков, то населению эндемичных очагов описторхоза желательно регулярно обследоваться на наличие паразитов, а в случае заболевания – в обязательном порядке проводить дегельминтизацию.

Д. м. н. А. Э. Сазонов, Главный научный сотрудник Центральной научно-исследовательской лаборатории Сибирского государственного медицинского университета (Томск)



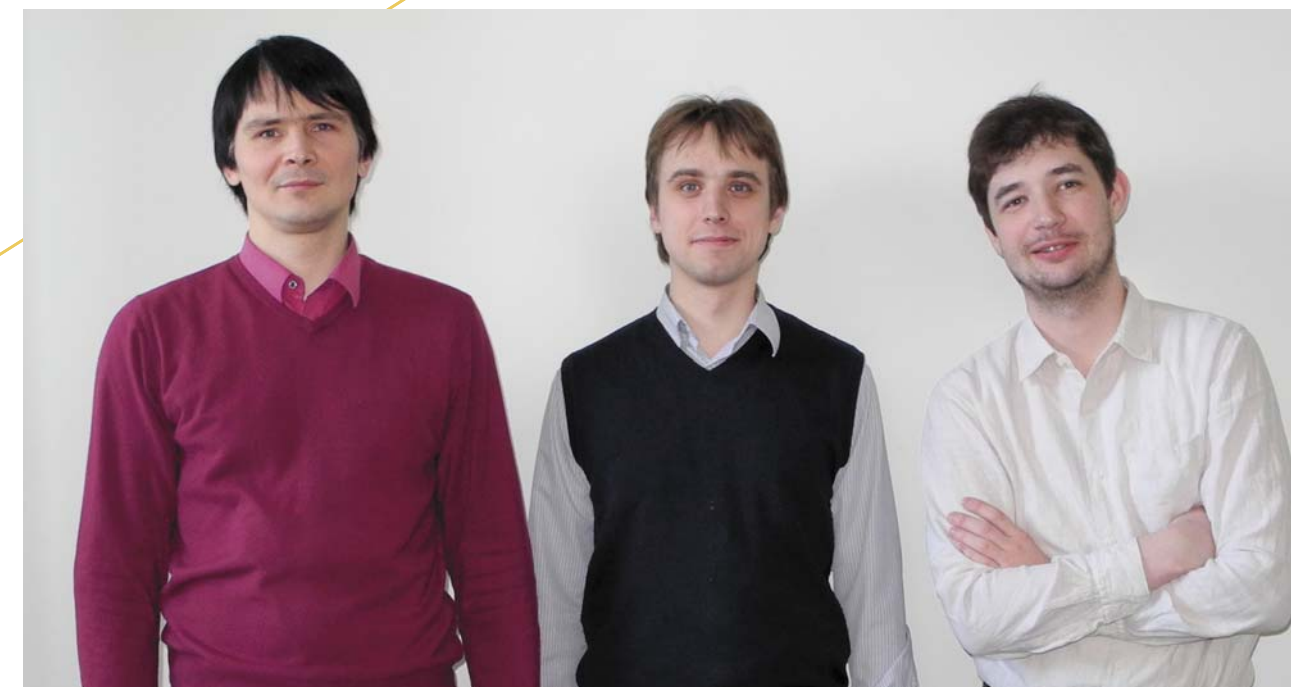
КАК СОЗДАЕТСЯ ИНЖЕНЕРНОЕ НАУКОЕМКОЕ ПО МИРОВОГО КЛАССА

© А.Г. Ершов, И.А. Рыков, Н.В. Снытников, 2013

А.Г. ЕРШОВ, И.А. РЫКОВ, Н.В. СНЫТНИКОВ



Всего несколько десятилетий назад рутинные расчеты и оформление технической документации занимали основную часть рабочего времени инженера. Все изменилось после появления систем автоматизированного проектирования (САПР). Сегодня САПР и инженерное программное обеспечение (ПО) – это важнейшая для промышленности отрасль, общий объем которой составляет более 10 млрд долл. в год. С момента своего рождения и на протяжении уже пятидесяти лет эта индустрия является интенсивным потребителем научных исследований и разработок. Предметная область, включающая в себя задачи вычислительной математики, математического моделирования, оптимизации, исследования операций и других дисциплин, постоянно требует усовершенствования известных подходов и разработки новых методов и алгоритмов. Одним из таких направлений стало геометрическое моделирование. Использование геометрических моделей позволяет решить широчайший спектр производственных задач, давая такие преимущества, как сокращение затрат на проектирование, возможность оперативно вносить изменения в конструкцию изделия, удешевление производства, сокращение сроков вывода нового продукта на рынок



ЕРШОВ Алексей Геннадьевич – кандидат физико-математических наук, генеральный директор «ЗАО ЛЕДАС». Автор около 20 научных работ

РЫКОВ Иван Александрович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института математики им. С.Л. Соболева СОРАН, директор по технологиям «ЗАО ЛЕДАС». Автор около 20 научных работ

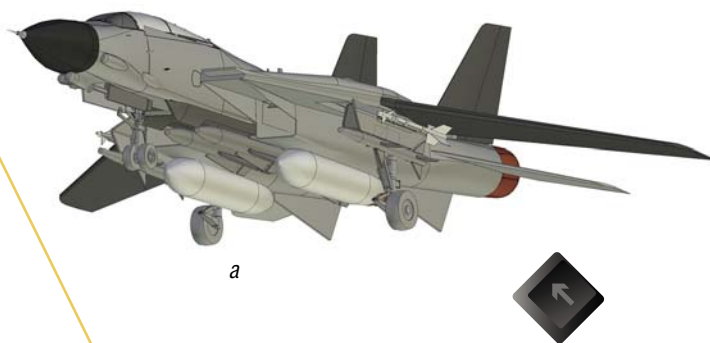
СНЫТНИКОВ Николай Валерьевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, исполнительный директор «ЗАО ЛЕДАС». Автор около 20 научных работ.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированное производство, автоматизированный инженерный анализ, управление жизненным циклом изделия, геометрическое моделирование
Key words: Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM), Computer Aided Engineering (CAE), Product Lifecycle Management (PLM), Geometric modeling

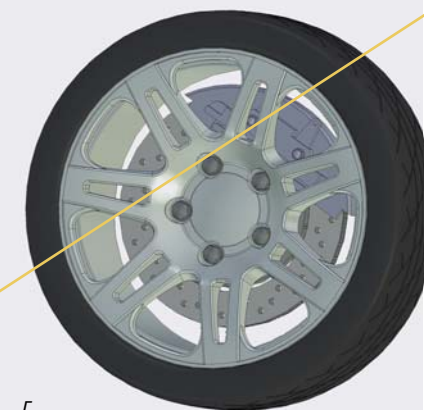
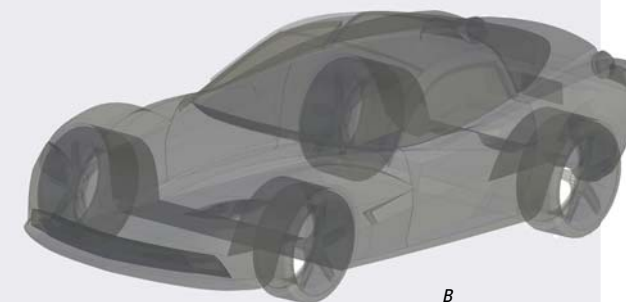
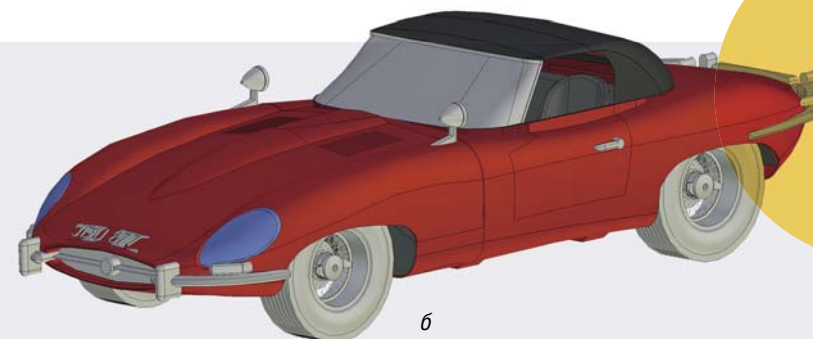
В сознании большинства людей разработка программного обеспечения в первую очередь связана с веб-дизайном, интернет-поиском, документооборотом или компьютерными играми. Мы ежедневно пользуемся подобными приложениями на работе и дома, а названия корпораций Microsoft, Google, Facebook и Apple сможет написать без ошибок даже первоклассник.

В то же время индустрия разработки ПО, которая за полувековую историю своего существования самым решающим образом повлияла на наше окружение – от дизайна электрического чайника или мебели до архитектуры домов и проектирования самолетов, по-прежнему остается малоизвестной широкой аудитории. Речь идет об инженерном ПО: автоматизированном проектировании (Computer-Aided Design, CAD, или САПР), производстве (Computer-Aided Manufacturing, CAM), средствах инженерного анализа (Computer-Aided Engineering, CAE) и управлении жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management, PLM), являющихся неотъемлемыми инструментами повседневной работы современного инженера.

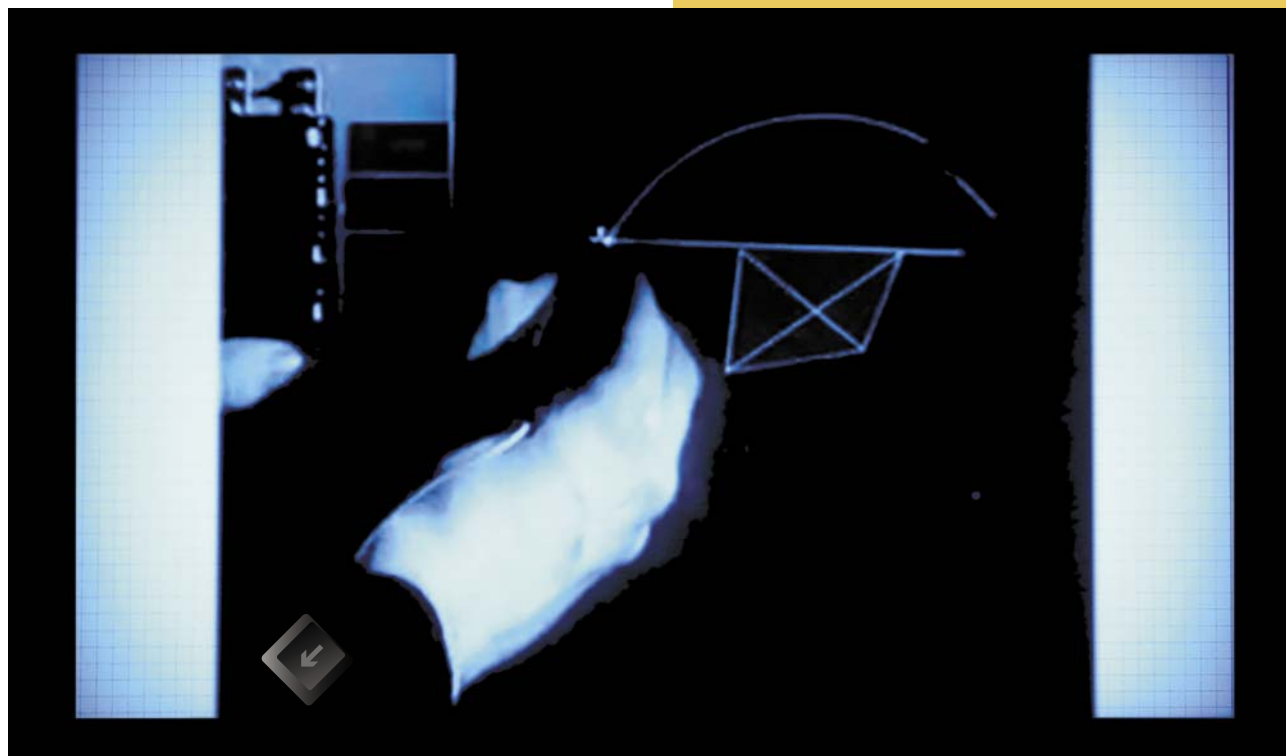
Разработка Айвэном Сазэрлэндом первого электронного кульмана Sketchpad в 1963 г. положила начало бурному научному развитию области САПР



Сложные трехмерные САПР-модели:
а – модель сверхзвукового истребителя F-14, разработка которого велась в США с 1960-х гг.;
б – модель спортивного автомобиля Jaguar E-Туре, производимого с 1961 по 1974 г.;
в – модель Chevrolet Corvette C7 (полупрозрачный вид, при котором удобно просматривать внутренние части автомобиля). Предполагается, что автомобиль поступит в продажу в 2014 г.;
г – модель колеса с крышкой. Если говорить о реальной производственной модели автомобиля, то она представляет собой сборку из огромного количества деталей. Даже обыкновенное колесо является очень сложным механизмом

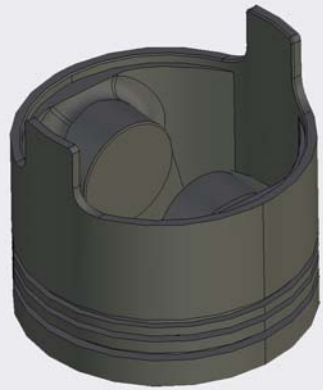


Еще 50 лет назад для создания таких моделей потребовалась бы целая армия инженеров-проектировщиков. А сегодня САПР выполняет за инженера значительную часть работы, избавляет его от рутинных технических расчетов и оформления документации, оставляя больше пространства для новаторских идей. Разумеется, настоящие цифровые модели являются одним из ключевых секретов производства, доступ к которым тщательно охраняется. Тем не менее подвиги таких моделей с высокой степенью детализации могут быть выполнены энтузиастами практически в домашних условиях, например, при помощи специализированных веб-сайтов, таких как 3dcontentcentral.com или GrabCAD.com

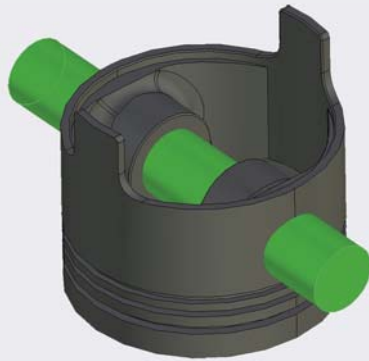


Легендарный 88-летний М. Дассо, основатель аэрокосмической компании Dassault Aviation; Д. Кармель, один из сотрудников Dassault Aviation, и Ф. Бернар, будущий генеральный директор Dassault Systemes, за экраном компьютера обсуждают начало разработки системы CATIA

В 1970-х гг. появляется математический аппарат и программный инструментарий: изобретены NURBS (неоднородные рациональные B-сплайны), разработаны способы цифрового представления трехмерного сплошного тела, предложены базовые алгоритмы. Одновременно выпускаются первые версии коммерческих систем, и происходит становление нового рынка программного обеспечения. К концу 1980-х гг. индустрия уже приобрела приблизительно те формы, которые мы видим сейчас: на рынке присутствуют CATIA, NX (Unigraphics), AutoCAD и Pro/Engineer

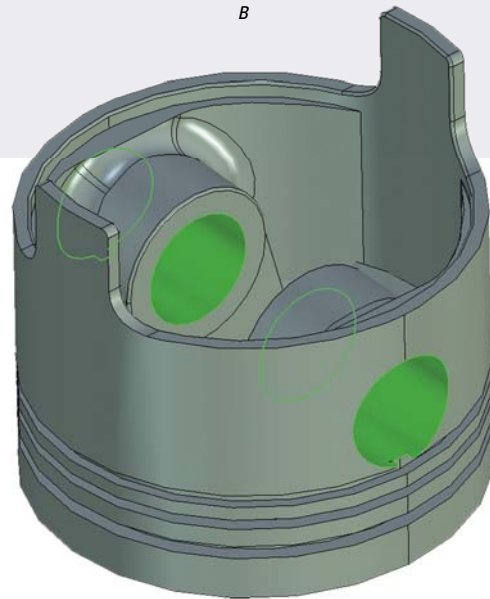


а



б

Продельвание отверстия цилиндрической формы в заготовке. (а – исходная заготовка, б – заготовка и созданное тело-инструмент, в – результат булевой операции вычитания «материала» инструмента из заготовки. Пример выполнен в системе T-Flex CAD



в

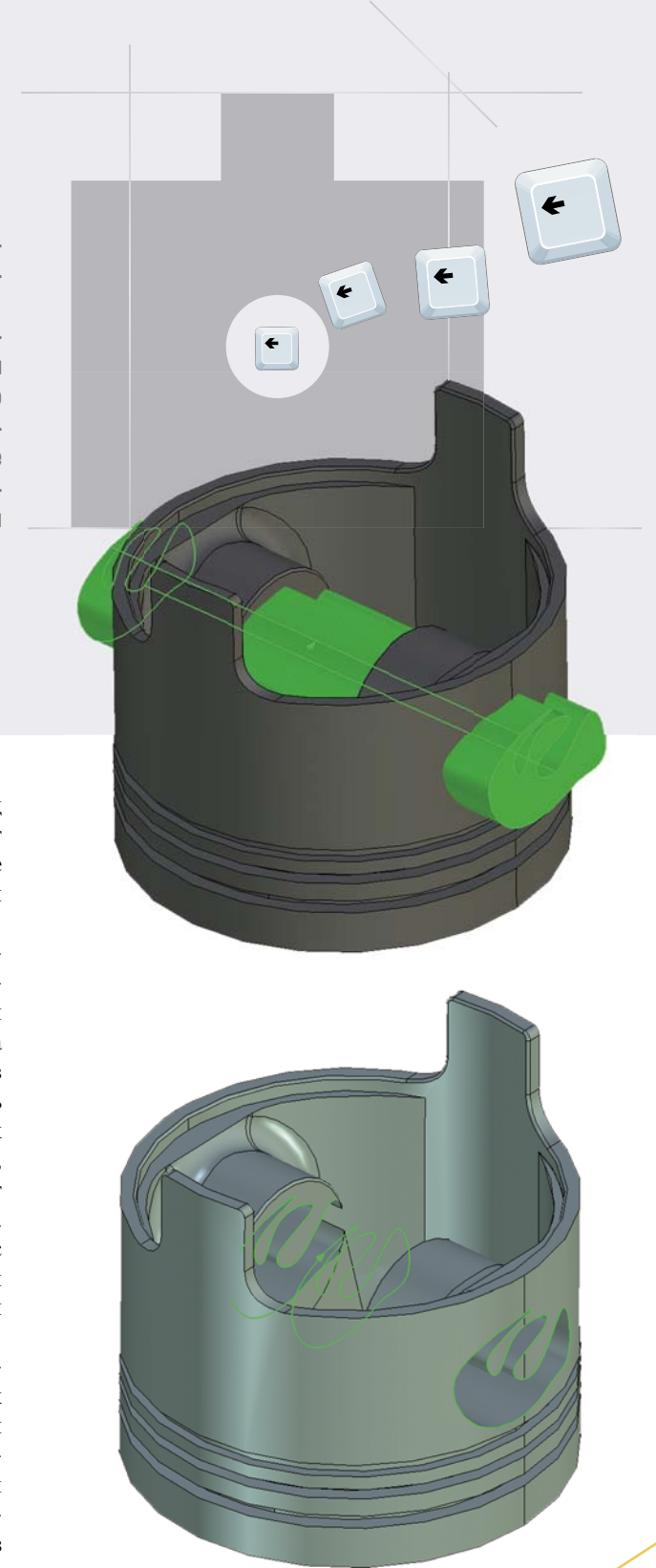
Важными особенностями инженерного ПО являются высокая степень наукоемости и глубокое сопряжение фундаментальных математических и инженерных дисциплин непосредственно с промышленным производством. Это стало одной из причин появления нового научного направления – геометрического моделирования. С одной стороны, оно тесно переплетается с математическим моделированием, вычислительной математикой, дифференциальной геометрией и алгоритмами работы над структурами данных, с другой – в задачах геометрического моделирования присутствует гораздо больше индустриальной прагматики. Здесь, в отличие от научного подхода, требуется не просто реализовать программный прототип, подходящий для решения частной задачи и интересный ограниченному кругу пользователей, но и создать работоспособное, надежное и удобное ПО, которое станет инструментом повседневной деятельности для миллионов инженеров с самым широким спектром задач промышленного производства.

На пути к российскому ядру

Фундаментом всех современных CAD, позволяющих работать с трехмерной цифровой моделью изделия, является программная компонента, называемая ядром трехмерного геометрического моделирования. Основные функции ядра включают в себя средства топологического представления трехмерной модели сплошного тела в виде специальных структур данных (таких как B-Rep, Boundary Representation, граничное представление), операции создания тел произвольной формы (например, вытягивание двумерного контура

Для индустрии инженерного ПО характерна закрытость научных исследований, обусловленная высокой степенью коммерческой востребованности результатов. Подавляющая часть научно-исследовательской работы ведется в недрах крупных корпораций и скрыта от посторонних глаз. Научные сотрудники связаны с корпорациями соглашениями о конфиденциальности и, как правило, даже после увольнения не могут продолжить свои исследования в университетах или других организациях. Сами же корпорации мало заинтересованы в обнародовании своих результатов. Это приводит к тому, что актуальные для индустрии проблемы и задачи редко освещаются в научных статьях или на конференциях

Одна из типичных операций, выполняемых инженером-проектировщиком, в задачах конструирования пересечения кривых, поверхностей и топологических структур. В заготовке детали необходимо проделать пару отверстий, для этого с помощью двумерного профиля (окружность или сплайн по точкам) создается тело «выталкивания» (соответственно цилиндр или NURBS-поверхность), которое позиционируется в пространстве и затем применяется булева операция вычитания. Фактически эта операция является аналогом сверления или другого способа удаления материала



вдоль заданной траектории или булевой операции над двумя телами) и средства диагностики модели (расчет массово-инерционных характеристик, определение столкновений и др.). Общее же количество функций ядра может достигать нескольких сотен.

История развития отрасли показывает, что разработка промышленного ядра геометрического моделирования – это одна из самых трудных задач при создании инженерного программного обеспечения. Сегодня на мировом рынке известны лишь несколько поставщиков промышленных геометрических ядер (в основном речь идет о двух конкурентах – ACIS и Parasolid, имеющих одни и те же научные корни в британском Кембридже), от которых коммерчески и технологически зависит огромная часть рынка САПР и смежных продуктов. Эти программные компоненты начали создаваться с середины 1980-х гг., и к настоящему моменту общая трудоемкость их разработки составила несколько сотен человеко-лет.

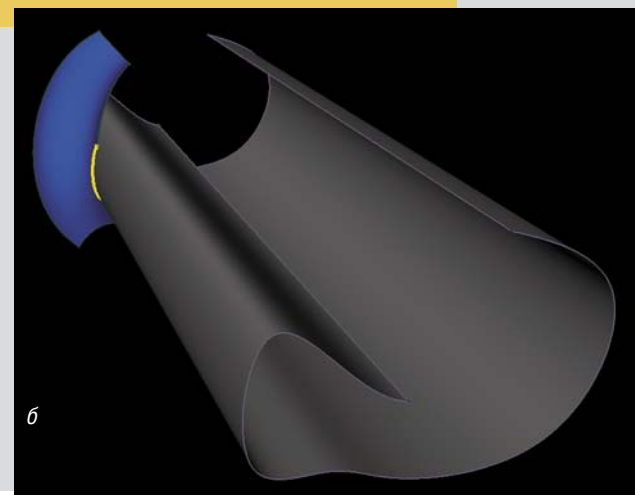
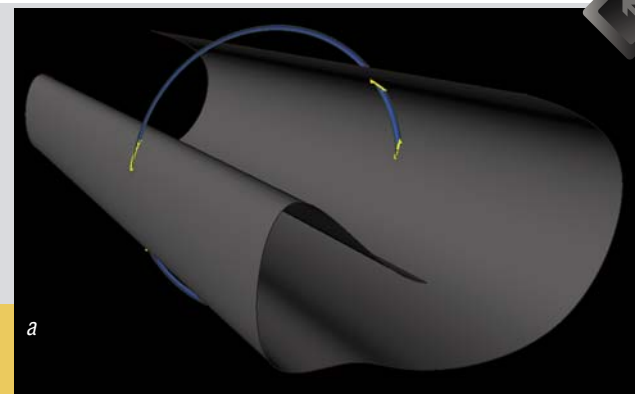
Наряду с такими достоинствами, как высокая степень отлаженности и апробированности на миллионах конечно-пользовательских сценариев, существующим геометрическим ядрам присущи и некоторые ограничения, связанные прежде всего с тем, что программная архитектура ядер была спроектирована давно и во многом не отвечает современным потребностям. К одной из проблем, в частности, относится поддержка многопроцессорных и многоядерных аппаратных платформ.

Исходя из необходимости решать перечисленные задачи и вместе с тем учитывая потребность развивать отечественную технологическую базу, Министерство

Продельвание отверстия неправильной формы в заготовке. В этом случае построение кривой пересечения уже невозможно без использования численных методов

промышленности и торговли РФ в 2011 г. инициировало трехлетний НИОКР-проект по созданию собственного ядра геометрического моделирования («Российское геометрическое ядро»). Над проектом работает комплексный коллектив ведущих российских групп разработчиков под руководством Московского государственного технологического университета СТАНКИН. В область ответственности компании ЛЕДАС входит разработка ключевого модуля и алгоритмов ядра для решения задачи конструирования пересечения кривых, поверхностей и топологических структур.

Однако разработка и реализация современных методов, выполненная на хорошем научно-техническом уровне, является лишь самым начальным этапом создания работоспособного ПО. Первая версия реализо-



Булевы операции вычитания одного тела из другого (а) и пересечение поверхностей (б), при которых необходимо попарно пересекать грани и ребра тел

С точки зрения математических алгоритмов, булева операция сводится к попарному пересечению всех граней и ребер двух тел и построению нового топологически корректного тела. Решение необходимо находить интерактивно, чтобы каждая операция занимала у пользователя менее 0,1 секунды.

Однако при ближайшем рассмотрении выясняются более серьезные моменты, требующие не только общих знаний методов решения систем линейных и нелинейных уравнений, теории интерполяции, обыкновенных дифференциальных уравнений и алгоритмов вычислительной геометрии, но и ряда специальных подходов, интенсивно развивавшихся последние 20 лет

ванного алгоритма неизбежно не будет учитывать сотни специфических случаев, о которых редко упоминают в технических публикациях, но они невероятно часто встречаются в инженерной практике. К ним можно отнести разнообразные случаи частичного касания, пересечения или прилегания ребер или граней тела, проблему точностей или специальную обработку канонических поверхностей (плоскостей, цилиндров, сфер, торов). Конечно, речь идет не об обычных ошибках кодирования или так называемых *багах* ПО, а о том, что не существует универсального метода, пригодного для применения во всех случаях. Поэтому реализацию алгоритмов необходимо отлаживать и «полировать» на тысячах промышленных сценариев, взятых из реального производства.

Геометрический решатель – «великий комбинатор»

Другой важной компонентой САПР является геометрический решатель ограничений. Компания ЛЕДАС с 2002 г. разрабатывала продукты LGS 2D и LGS 3D (LEDAS Geometric Solver) и успешно вывела их на международный рынок, который с начала 1990-х гг. был по сути монополизирован британской компанией D-Cubed (сейчас – подразделение Siemens PLM Software). Эти решатели были лицензированы десятками компаний-производителей САПР из России, США, Японии, Италии, Германии, Южной Кореи, Израиля, Китая и других стран.

Параллельно с работой над собственным продуктом специалисты ЛЕДАС в течение многих лет занимались разработкой аналогичной программной компоненты по специальному заказу Dassault Systemes. Эта компонента была встроена в продукты CATIA, и в ее составе

Примеры пересечения поверхностей:

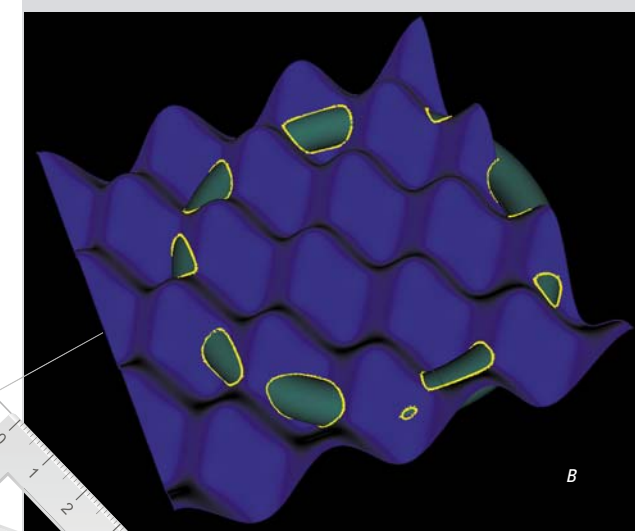
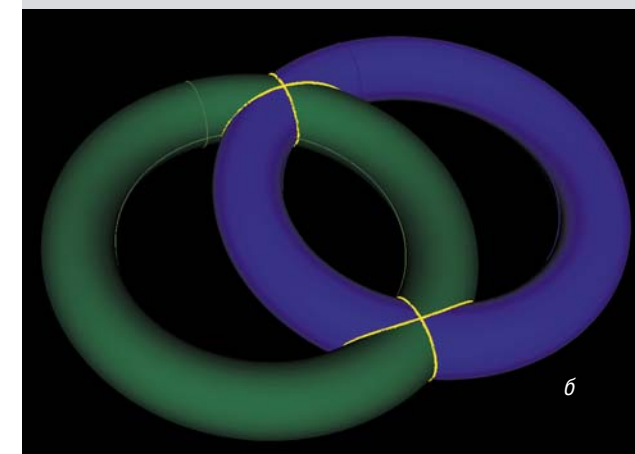
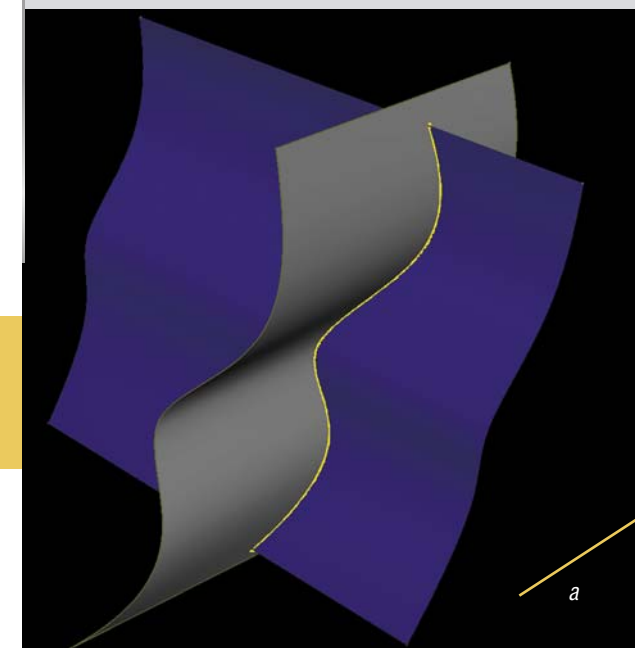
- а – простейший случай пересечения двух поверхностей по одной кривой;
- б – пересечение двух торов образует несколько кривых с так называемыми сингулярными точками;
- в – множество кривых пересечений, образующихся в результате пересечения тора с волновой поверхностью

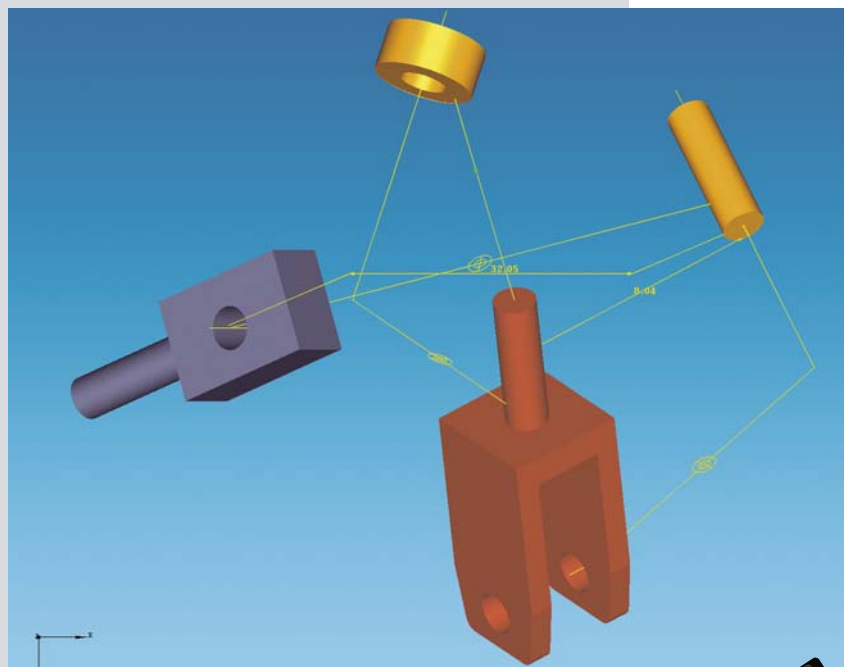
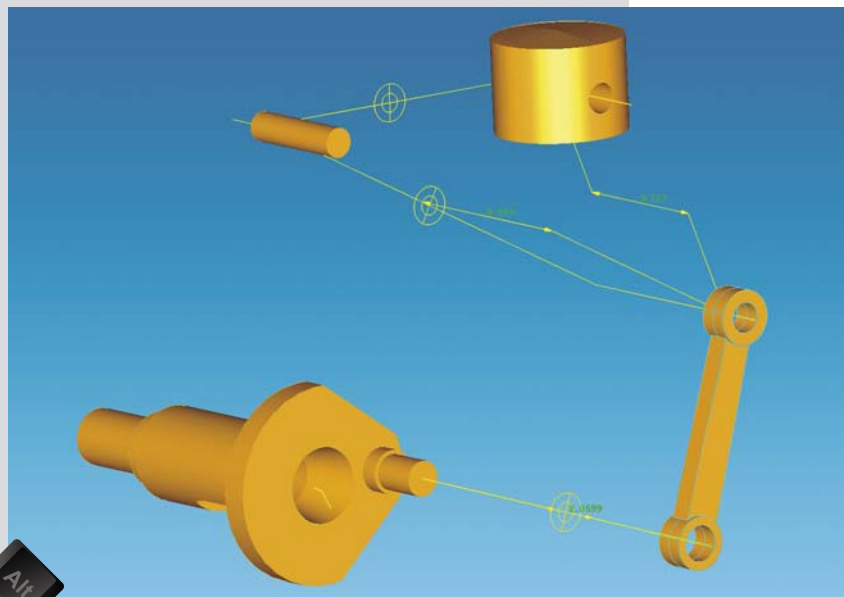


ЛЕДАС – одна из российских компаний, специализирующихся на создании уникальных технологических компонент для индустрии инженерного программного обеспечения. За 14 лет существования она смогла вывести на мировой рынок собственные высокотехнологические программные продукты и выполнить по заказу ведущих мировых поставщиков САПР ряд проектов по разработке математических компонент, используемых в компаниях Honda, Toyota, Bombardier и др.

Можно назвать две причины, по которым компания ЛЕДАС смогла за относительно короткое время занять заметное место на мировом рынке САПР в нише разработки высокотехнологических математических компонент. Во-первых, это общая технологическая и математическая культура сотрудников. В новосибирском Академгородке, где была основана и продолжает работать компания, существуют сильные научные школы в области программирования, вычислительной математики, кибернетики и оптимизации, связанные с именами А. П. Ершова, А. А. Ляпунова, Л. В. Канторовича, Н. Н. Яненко и др. Во-вторых, продвижению на мировой рынок способствовало многолетнее сотрудничество ЛЕДАС с французской корпорацией Dassault Systemes. Начав работать над совместным проектом по внедрению в CATIA технологии недоопределенных вычислений для решения широкого класса задач проектирования, специалисты ЛЕДАСа сумели точнее понять проблематику актуальных задач САПР.

На сегодняшний день портфолио компании состоит из десятков успешных проектов, выполненных по заказу ведущих мировых поставщиков CAD и CAM и нескольких собственных продуктов, успешно выведенных на мировой рынок. О некоторых из них – от создания и управления цифровой моделью изделия до вопросов производства ее физического экземпляра – рассказывают авторы статьи





используется инженерами на сотнях тысяч рабочих мест по всему миру, в том числе в корпорациях Toyota, Honda, Airbus, Boeing и др. Чтобы проиллюстрировать, почему так важен геометрический решатель ограничений, рассмотрим несколько задач проектирования.

Слово «design» в переводе на русский язык имеет как минимум два значения: графический дизайн и проектирование. При этом если дизайнер часто предпочитает рисовать исходный эскиз от руки, то инженеру требуется построение точных форм с заранее заданными соотношениями и свойствами.

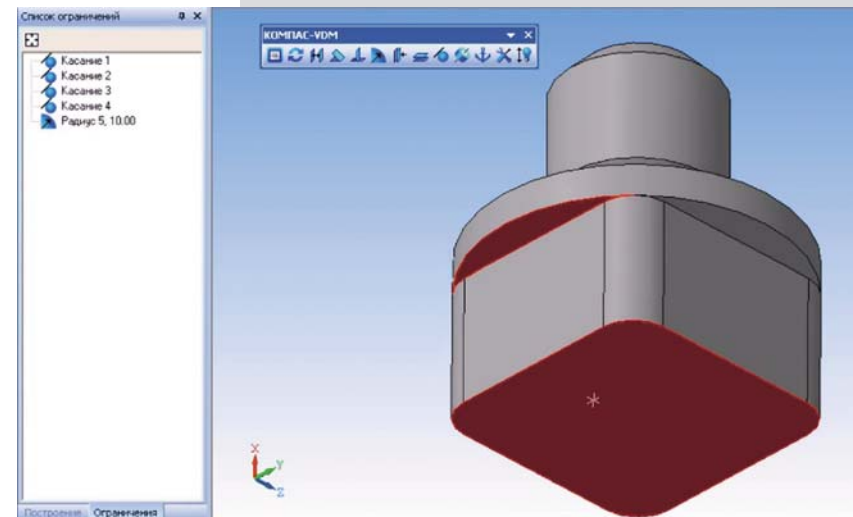
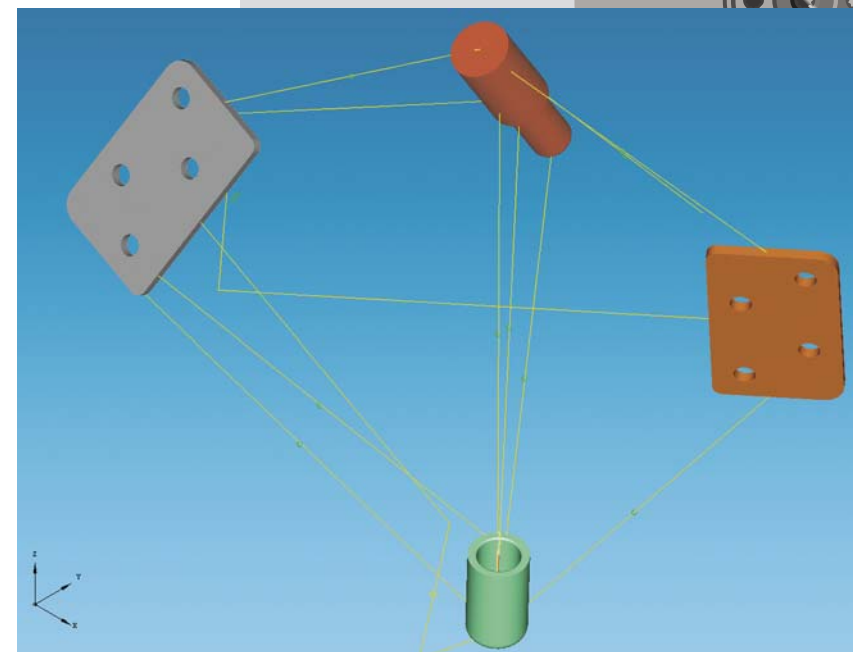
Типичная задача инженера-конструктора – сборка трехмерной модели механизма, состоящей из деталей, точно позиционированных по отношению друг к другу. Позиционирование происходит с помощью таких геометрических ограничений, как параллельность, расстояние, угол, касание, концентричность и др. Чтобы собрать механизм, необходимо решить систему из таких ограничений. Это и является функцией специальной программной компоненты – геометрического решателя. Имея заданную систему ограничений, геометрический решатель генерирует систему нелинейных алгебраических и тригонометрических уравнений, находит допустимое решение и в качестве ответа применяет пространственные трансформации к каждой детали в сборке. В итоге детали оказываются в таком положении, при котором все принятые ограничения удовлетворены.

Несмотря на то что решение нелинейных систем – это хорошо известная задача вычислительной математики, практика показывает, что системы уравнений, получающиеся из геометрических ограничений в САПР, весьма специфичны. Они могут быть недоопределенными, переопределенными и разреженными. Чаще всего системы уравнений

Дверное крепление – пример механизма с одной внутренней степенью свободы. Для разрешения подобных задач необходимо уметь решать недоопределенные системы нелинейных уравнений

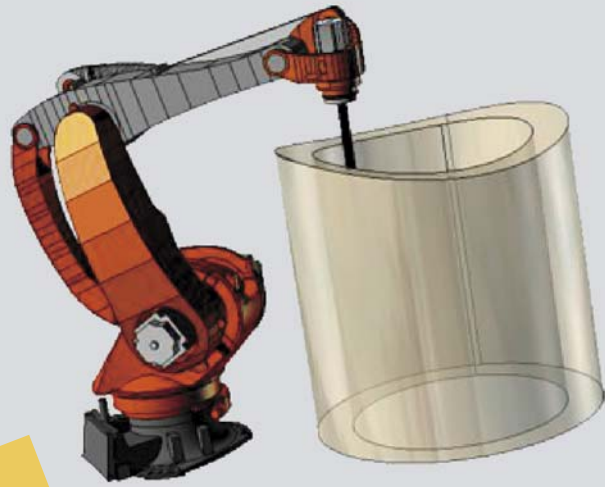
недоопределены. Каждая твердотельная трехмерная деталь имеет шесть степеней свободы: три трансляционных и три ротационных. Инженер с помощью ограничений фиксирует только часть степеней свободы механизма (чтобы в нем остались определенные кинематические сочленения), а система уравнений для его расчета оказывается недоопределенной. Из бесконечного множества возможных решений геометрический решатель должен выбрать тот, при котором положение деталей максимально приближено к начальному (эскизному).

С другой стороны, система уравнений может быть и переопределенной. Например, если взять простую модель – дощатый дом – и задать естественные ограничения параллельности и перпендикулярности для всех пар досок, то возникнет переопределенность, поскольку из одних параллельностей и перпендикулярностей следуют другие. На практике это означает, что в системе уравнений будут линейные зависимости, которые могут привести к серьезной проблеме. Если в исходной модели присутствуют неточности входных данных или накапливается погрешность машинных вычислений, то зависимости между отдельными уравнениями системы становятся близкими к линейным, хотя, строго говоря, таковыми не являются. Это порождает резкий рост числа обусловленности системы уравнений, вычисления становятся неустойчивыми, свойство сходимости к решению теряется.

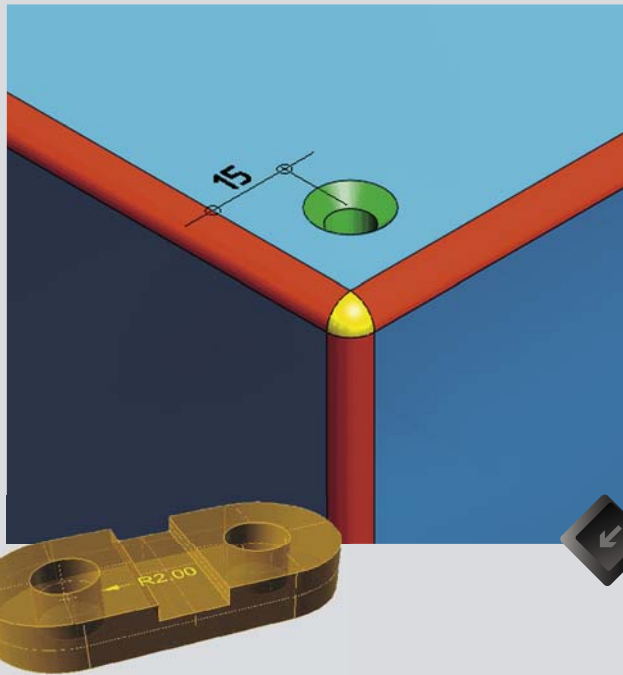


Примеры сборки механизма из деталей при помощи геометрических ограничений. Решение системы ограничений является главной задачей специального вычислительного программного продукта – геометрического решателя

Использование геометрического решателя LGS 3D внутри системы КОМПАС – самой продаваемой российской САПР, выпускаемой компанией АСКОН (Санкт-Петербург)



Использование геометрического решателя LGS 3D для задачи обратной кинематики. Чтобы определить, каким должно быть движение всех сочленений промышленного робота для обеспечения нужной траектории движения инструмента, необходимо решить недоопределенную систему ограничений



Приложения геометрического решателя весьма разнообразны. Помимо моделирования сборки различных механизмов они используются для параметрического конструирования деталей, кинематических схем, моделирования движения недеформируемых тел, трансляции данных между различными САПР-системами. На основе геометрического решателя также разрабатываются технологии более высокого уровня, такие как вариационное прямое моделирование в ограничениях. Оно позволяет задавать ограничения не только между деталями сборки, но и внутри каждой детали, меняя тем самым ее форму

Третьей особенностью является разреженность систем ограничений. Как правило, каждое ограничение связывает всего два объекта, например, задает концентричность двух цилиндров. Это означает, что система нелинейных уравнений представляет собой набор слабо связанных друг с другом подсистем, что открывает путь к специальным методам декомпозиции, сформулированным как в алгебраической, так и в геометрической постановке.

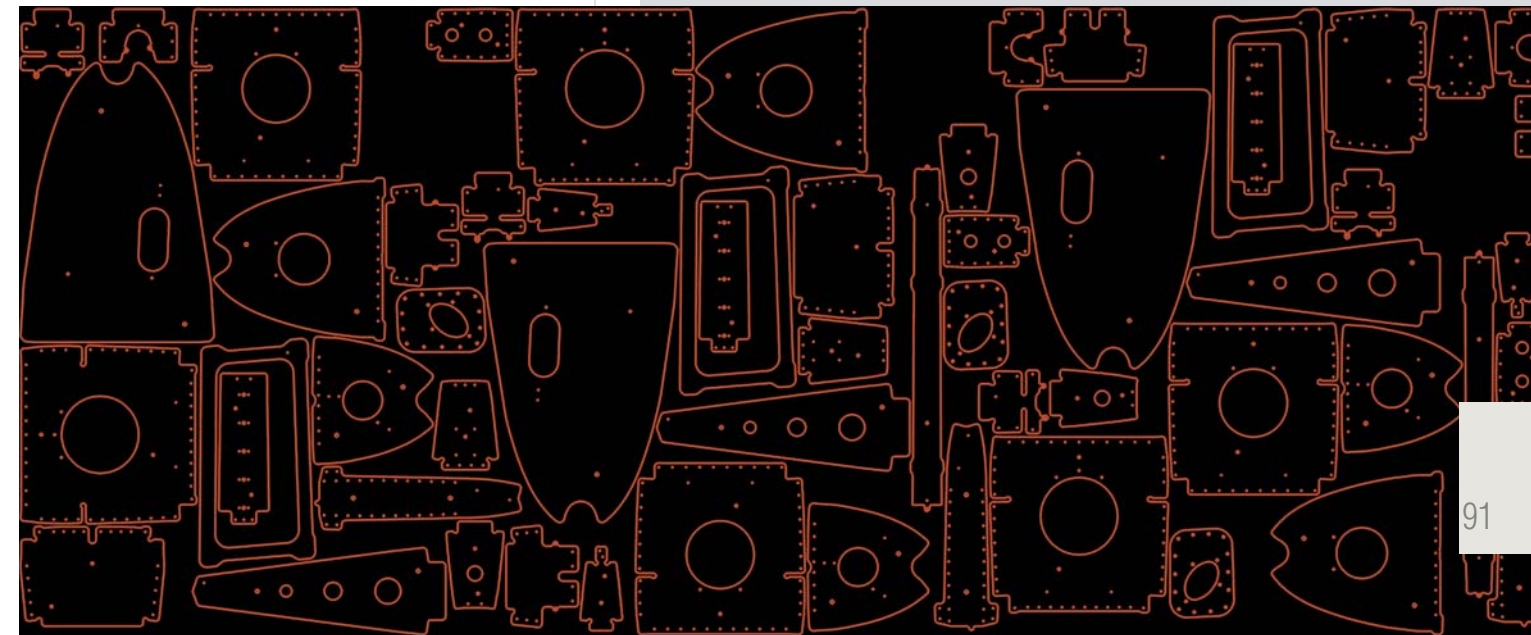
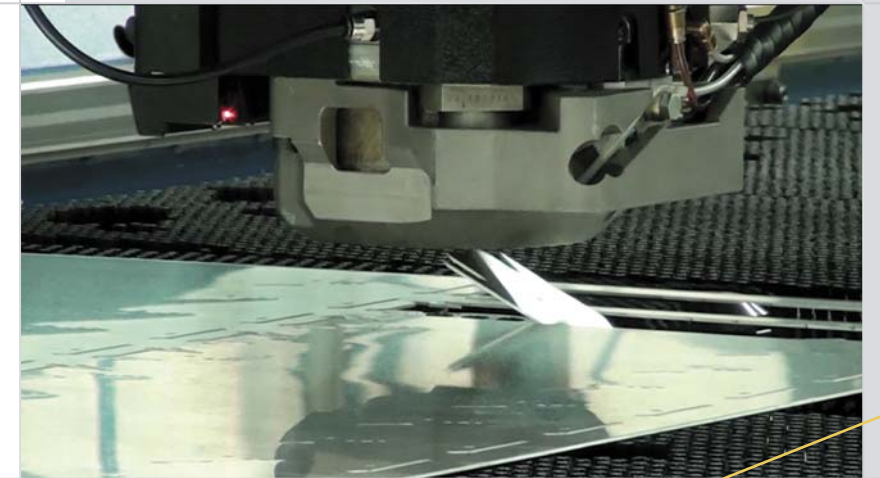
Автоматизация листового раскроя: пилите, Шура, пилите

Итак, цифровая модель изделия спроектирована, и пришло время производства физического экземпляра. Появившиеся в последнее время технологии 3D-печати (Бэкстрем, 2012]), вполне пригодные для изготовления макетов или прототипов изделий, пока еще не созрели для серийного производства деталей. Реальных альтернатив станкам с ЧПУ (с числовым программным управлением – *NC, numerical control*) на горизонте пока не видно.

К настоящему моменту станки с ЧПУ и САМ-системы решили две задачи производства. Во-первых, избавили оператора от необходимости пошагового управления инструментом станка. Вместо этого генерируется программа, записанная в виде так называемого G-кода – списка низкоуровневых управляющих команд, определяющих перемещение головки на определенную позицию или включение/выключение инструмента. Во-вторых, позволили инженеру работать непосредственно с цифровой моделью и чертежом в графическом представлении. Инженер указывает последовательность применяемых инструментов и траекторию их

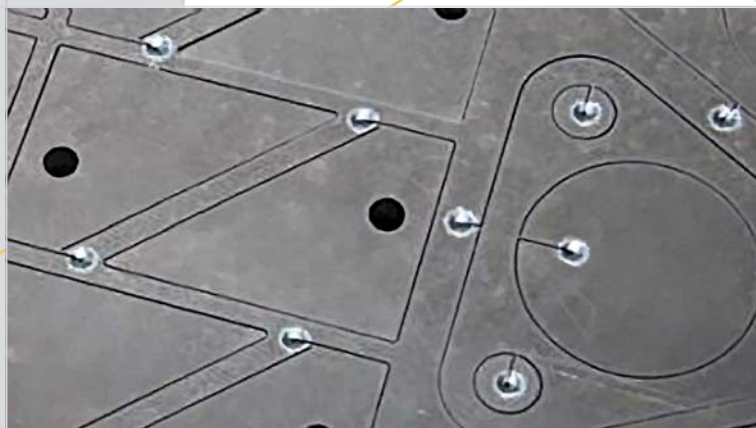
Прямое моделирование с ограничениями на основе LGS 3D. Создание форм деталей с помощью ограничений является значительно более сложной задачей, чем сборка деталей механизмов

Обработка листового материала на станке с ЧПУ. Разные типы станков могут использовать различные технологии (резка лазером или гидроабразивным способом), но математическая формулировка задачи раскроя материала будет похожей

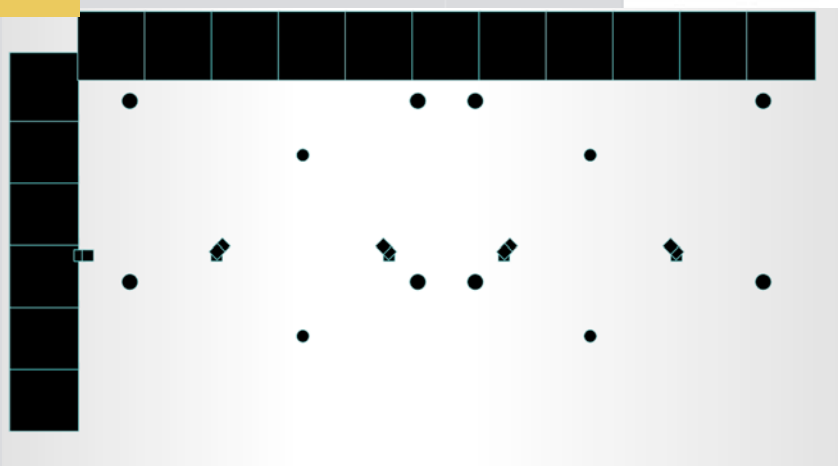


Квазиоптимальное решение двумерной задачи упаковки. Свойства этой NP-трудной задачи приводят к парадоксальному результату: до сих пор квалифицированный специалист по раскрою способен выполнить эту задачу не хуже, чем автоматическое программное обеспечение, запущенное на современных компьютерах. Однако стоимость услуг такого специалиста существенно выше, чем стоимость ПО

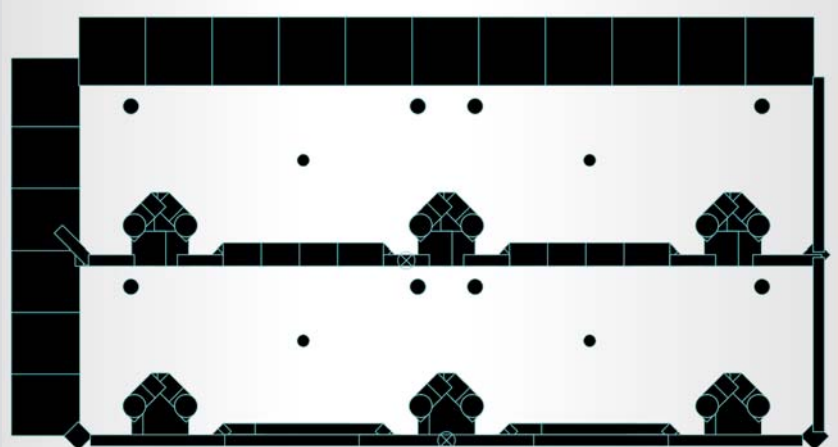
Артефакты, возникающие при лазерной резке деталей. Учет различных технологических ограничений, связанных с процессом обработки материала на станке, – это наиболее трудоемкая часть разработки САМ-систем



а



б



Две фазы построения последовательности ударов для координатно-вырубного станка. Черным цветом отмечены «удары» станка, серым цветом – материал и финальные детали:

- а – одно из промежуточных состояний (выполнена «обрезка» листа, проделаны круговые отверстия разного диаметра);
- б – финальное состояние (проделаны отверстия прямоугольной формы под разными углами).

Результатом являются две детали

движения, после чего G-код генерируется САМ-системой автоматически.

Сегодня основной фокус исследований и разработок в САМ сместился на высокоуровневую автоматизацию, которая позволяет практически исключить инженера САМ из цепочки. Менеджер формирует номенклатуру заказа (чертежи и модели деталей, их материал и количество) и определяет ресурсы (тип станка, имеющиеся инструменты). Далее продвинутая САМ-система, используя «защиты» в нее интеллектуальные алгоритмы, самостоятельно выбирает способ и последовательность обработки деталей.

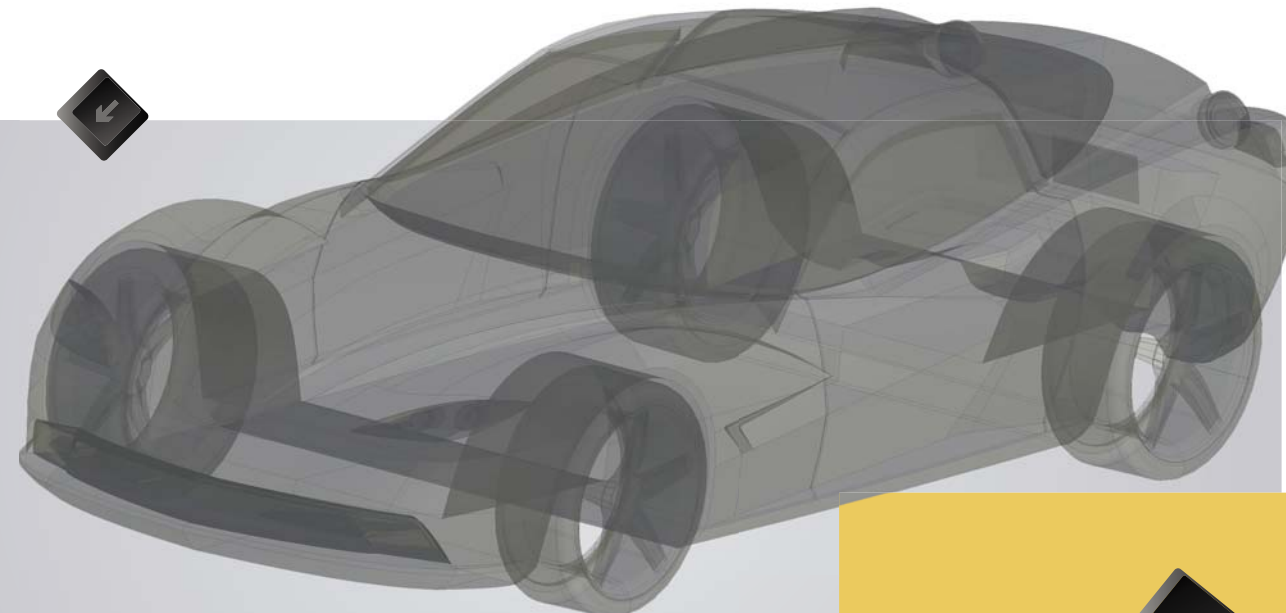
Примером вычислительно сложной САМ-задачи, которой по заказу одного из ведущих мировых САМ-поставщиков в течение нескольких последних лет занимаются специалисты компании ЛЕДАС, является автоматизация раскроя листового материала (металла или разнообразных композитов). В этом случае необходимо решить две задачи: во-первых, автоматически и оптимально (с минимальным расходом материала) разместить детали на листах; во-вторых, определить набор требуемых инструментов, оптимальную последовательность их применения и траекторию движения.

Первая задача хорошо известна специалистам по дискретной оптимизации как задача оптимального раскроя (*cutting problem*), или задача упаковки (*packing problem*). Даже в простейшей одномерной постановке она является NP-трудной. Другими словами, невоз-

можно получить оптимальное решение за приемлемое время. Если же говорить о реальном промышленном производстве, то оно имеет дело с существенно более сложной задачей – размещением на листе двумерных деталей произвольной формы. В этом случае для получения какого-либо квазиоптимального решения требуется привлечение широкого спектра методов вычислительной геометрии, оптимизации и исследования операций – от построения разности Минковского до алгоритмов поиска типа имитации отжига.

Вторая задача – расчет оптимальной последовательности обработки деталей – подразумевает необходимость учитывать большой набор трудноформализуемых технологических ограничений. Например, при простейшей лазерной резке необходимо специальным образом позиционировать точки включения лазера (на определенном расстоянии от контура детали), поскольку в этих точках лазер оставляет «наплывы».

Наибольшее количество технологических ограничений требуется учитывать при генерации последовательности действий координатно-пробивных и вырубных станков (*punching machine*). Технология заключается в вырубании материала вокруг деталей отдельными ударами. Здесь необходимо учитывать необходимость перекрытия отпечатков соседних ударов (чтобы не появлялись заусеницы из-за неточности позиционирования), не допускать неконтролируемого выпадения металла, просчитывать возможные изгибы или прови-





сания тяжелого листа, различные способы извлечения крупных деталей (например, с помощью промышленного робота) и десятки других требований. Также большое значение имеет количество смен инструментов и минимизация длины траектории движения.

История инженерного ПО помнит не одну технологическую революцию и сопутствующие взлеты и падения небольших стартапов и крупных корпораций. Сегодня, как и тридцать лет назад, индустрию нельзя назвать стагнирующей. Далеко не все проблемы решены, происходит открытие и освоение новых рынков. Потребность в инновациях и творческом подходе по-прежнему очень высока – как на уровне создания новых фундаментальных алгоритмов и методов, так и на уровне реализации работающих и отлаженных технологий и программных систем, учитывающих требования промышленного производства.

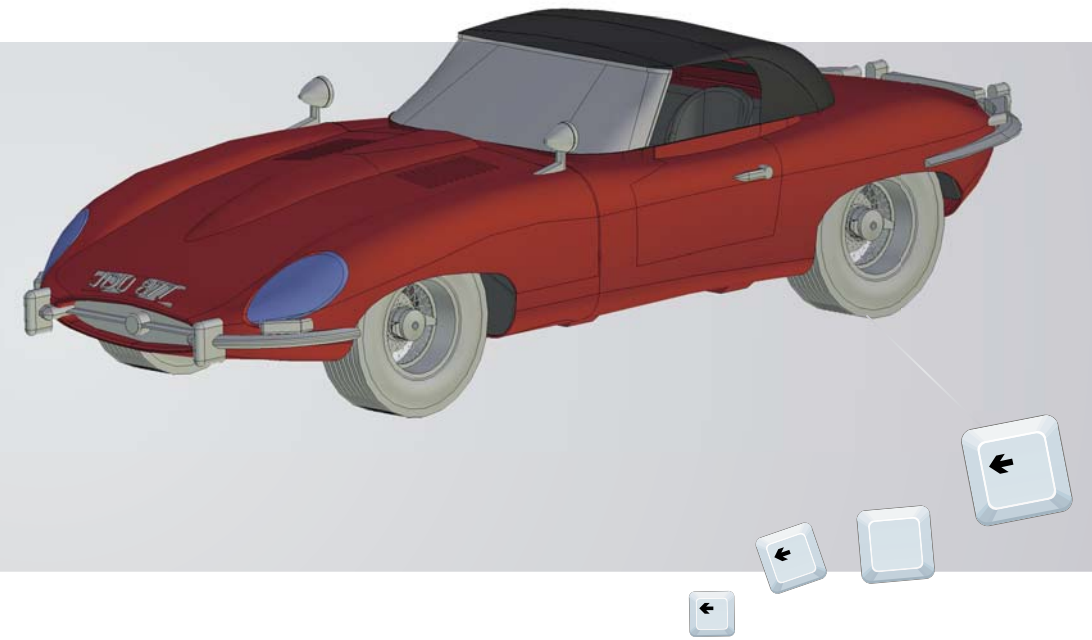
Не погружаясь глубоко в детали описания задач геометрического моделирования, инженерного анализа или управления данными об изделии, перечислим несколько актуальных направлений развития отрасли.

Во-первых, это поддержка современных многопроцессорных и многоядерных аппаратных платформ. Для этого необходимо разрабатывать специальные масштабируемые параллельные алгоритмы. Во-вторых, это технология запуска САПР в «облаке» (*cloud computing*), когда программное обеспечение доступно через веб-браузер или с помощью средств виртуализа-

ции. Особенно заманчиво здесь выглядит возможность управления «тяжелым» ресурсоемким САПР-приложением с любого смартфона. В-третьих, серьезной проблемой является трансляция трехмерной модели между разными форматами данных и САПР-платформами, предоставляемыми конкурирующими производителями ПО. И, наконец, максимальная интеллектуализация и автоматизация производственных процессов, которая позволит инженеру сфокусироваться на новых идеях, а не на деталях их реализации.

Список может быть легко продолжен десятками других специализированных задач, к которым относится проблема поиска трехмерных моделей в неструктурированном хранилище данных, исследование новых типов пользовательских интерфейсов, вопрос использования САПР совместно с 3D-принтерами и сканерами и многие другие.

Приятно отметить, что за последние несколько лет российские компании-разработчики, набравшись опыта в ходе тесного взаимодействия с ведущими мировыми поставщиками или во время продвижения собственных конечно-пользовательских программных продуктов на российском рынке, становятся все более конкурентоспособными на мировой арене как в технологическом, так и в маркетинговом плане. Нет сомнений, что в ближайшие несколько лет инженерное ПО отечественного производства сможет достичь заметного присутствия на глобальном, уверенно растущем рынке системы автоматизированного проектирования.



Литература

Баранов Л., Козлов С., Сёмин Д., Снытников Н. Российское 3D-ядро: архитектура и приложения // http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16129.

Бернар Ф. DASSAULT SYSTEMES: история успеха // http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14122.

Бэкстрем М., Реннар Л.-Э., Коптюг А.В. Запчасти для скелета // Наука из первых рук. 2012. № 2 (44). С. 45–57.

Волков Ю. С., Мирошниченко В. Л., Фадеев С. И. Слайны как инструмент геометрического моделирования (к 80-летию со дня рождения Ю. С. Завьялова) // Сиб. электрон. матем. изв. 2011 № 8. А.11-А.16.

Еришов А. Алгоритмы и программные системы для геометрических задач параметрического проектирования // Дис. канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2007.

Ушаков Д. На ядре // http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14210.

Ушаков Д. NURBS и САПР: 30 лет вместе // http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14924.

Ушаков Д. Вариационное прямое моделирование, или как сохранить намерения проектировщика в САПР без истории построения // http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=12711.

Ярес Э. Русские САПРы // http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=1605368.

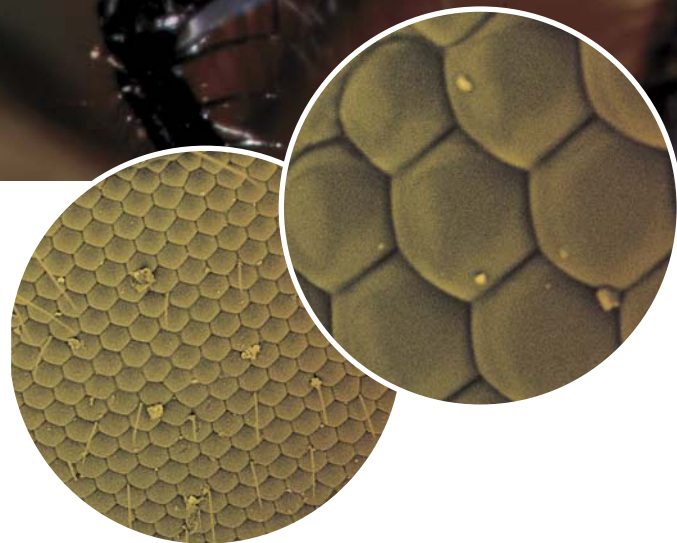
Coons S. A. An outline of the requirements for a computer-aided design system // Proceedings of the AFIPS '63 (Spring), May 21-23, (1963) 299-304.

David E. Weisberg. The Engineering Design Revolution // <http://www.cadhistory.net/>.



С точки зрения насекомого

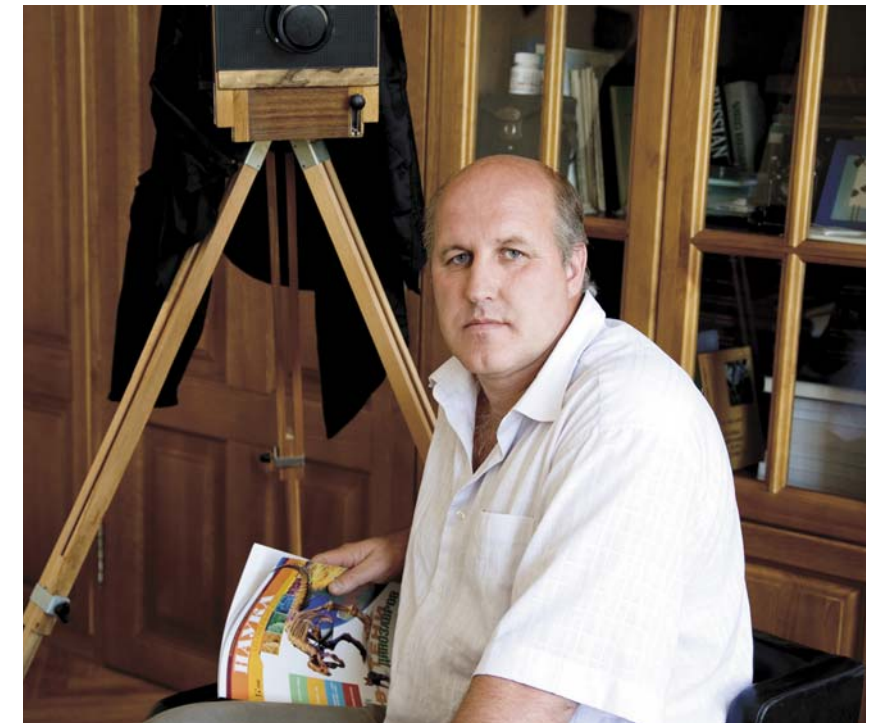
В. В. ГЛУПОВ



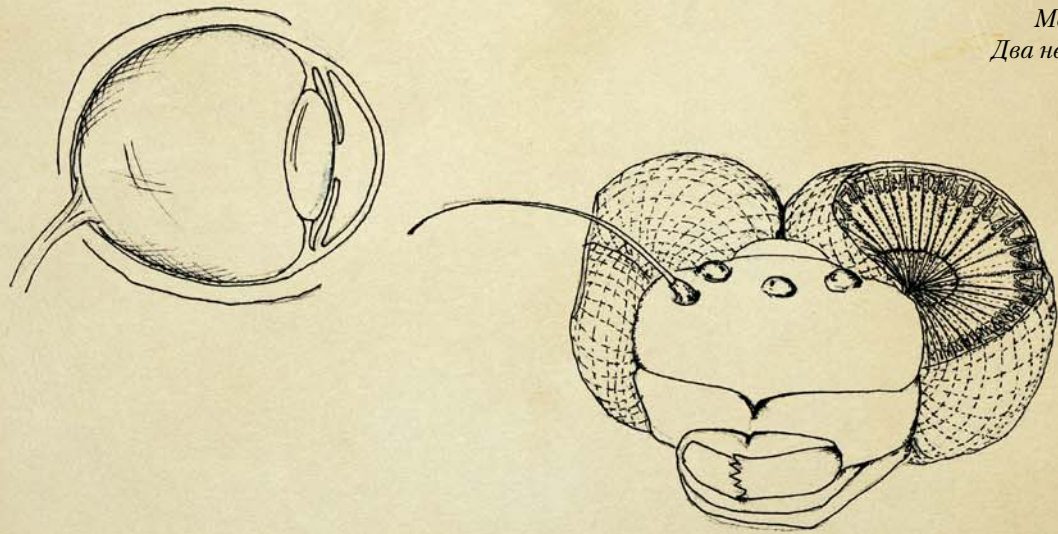
Среди насекомых наиболее развитые глаза имеют активные дневные насекомые, такие как мухи и стрекозы. Вверху – четырехпятнистая стрекоза (*Libellula quadrimaculata*) с огромными фасеточными глазами; справа – участок фасеточного глаза мухи-сильфиды из рода *Cheilosia*. Сканирующая электронная микроскопия. Фото Р. Дудко (ИСиЭЖ СО РАН, Новосибирск)

Ключевые слова: насекомые, зрение, фасеточные глаза, омматидии, оцелли, стеммы, суперпозиционные глаза, аппозиционные глаза, фоторецепторы, родопсин.
Key word: insect, vision, compound eyes, rhabdomer, ommatidia, ocelli, stemma, superposition eye, apposition eye, photoreceptors, rhodopsin

Считается, что до 90 % знаний о внешнем мире человек получает при помощи своего стереоскопического зрения. В отличие от человека, зайцы обзавелись боковым зрением, благодаря которому они могут видеть объекты, находящиеся сбоку и даже позади себя! У глубоководных рыб глаза могут занимать до половины головы, а теменной «третий глаз» миноги позволяет ей неплохо ориентироваться в воде. Змеи способны видеть только движущийся объект, а самыми зоркими в мире признаны глаза сокола-сапсана, способного выследить добычу с высоты 8 км! Но как видят мир представители самого многочисленного и разнообразного класса живых существ на Земле – насекомых? Удивительно, но наряду с позвоночными животными, которым они проигрывают только по размерам тела, именно насекомые обладают наиболее совершенным зрением и сложноустроенными глазами



ГЛУПОВ Виктор Вячеславович – доктор биологических наук, профессор, директор Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск), заведующий лабораторией патологии насекомых ИСиЭЖ СО РАН. Главный редактор «Евразийского энтомологического журнала». Автор и соавтор более 100 научных публикаций



Меркнет зрение – сила моя,
Два незримых алмазных копыта...
А. Тарковский (1983)

Трудно переоценить значение света (электромагнитного излучения видимого спектра) для всех обитателей нашей планеты. Солнечный свет служит основным источником энергии для фотосинтезирующих растений и бактерий, а опосредованно через них – и для всех живых организмов земной биосферы. Свет непосредственно влияет на протекание всего многообразия жизненных процессов животных, от размножения до сезонной смены окраски. И, конечно, благодаря восприятию света специальными органами чувств, животные получают значительную (а часто и большую) часть сведений об окружающем мире, могут различать форму и цвет объектов, определять движение тел, ориентироваться в пространстве и т. п.

Зрение особенно важно для животных, способных активно передвигаться в пространстве: именно с возникновением подвижных животных начал формироваться и совершенствоваться зрительный аппарат – сложнейший из всех известных сенсорных систем. К таким животным относятся позвоночные и среди беспозвоночных – головоногие моллюски и насекомые. Именно эти группы организмов могут похвалиться самыми сложноустроенными органами зрения.

Однако зрительный аппарат у этих групп значительно различается, как и восприятие образов. Считается, что насекомые в целом более примитивны по сравнению с позвоночными, не говоря уже о высшем их звене – млекопитающих, и, естественно, человеку. Но вот насколько различается их зрительное восприятие? Иными словами, намного ли отличается от нашего мир, увиденный глазами маленького создания по имени муха?

Мозаика из шестигранников

Зрительная система насекомых в принципе не отличается от таковой у других животных и состоит из периферических органов зрения, нервных структур и образований центральной нервной системы. Но что касается морфологии органов зрения, то здесь различия просто бросаются в глаза.

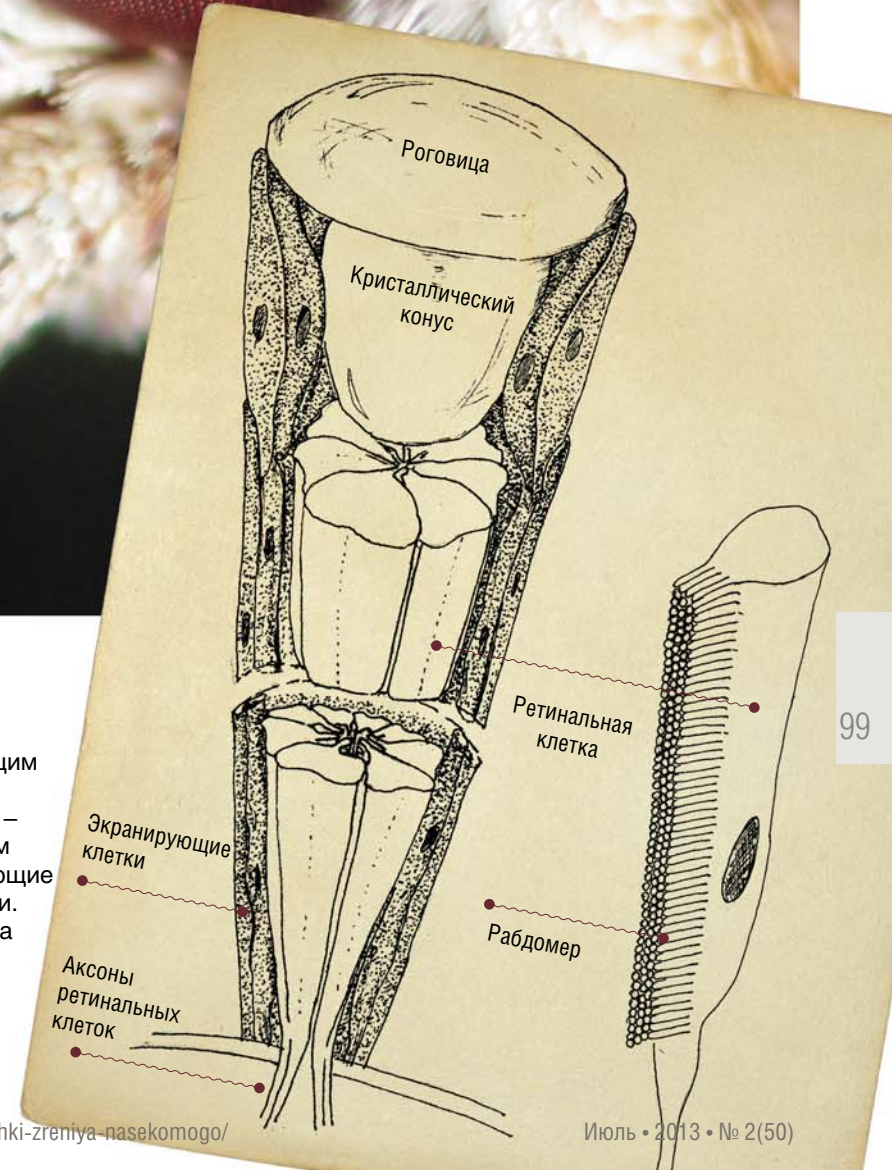
Всем знакомы сложные фасеточные глаза насекомых, которые встречаются у взрослых насекомых или у личинок насекомых, развивающихся с неполным превращением, т. е. без стадии куколки. Исключений из этого правила не так много: это блохи (отряд Siphonaptera), веерокрылые (отряд Strepsiptera), большинство чешуйниц (семейство Lepismatidae) и весь класс скрыточелюстных (Entognatha).

Фасеточный глаз по виду напоминает корзинку спелого подсолнуха: он состоит из набора фасеток (омматидиев) – автономных приемников светового излучения, имеющих все необходимое для регуляции светового потока и формирования изображения. Число фасеток сильно варьирует: от нескольких у щетинохвосток (отряд Thysanura) до 30 тыс. у стрекоз (отряд Aeshna). Удивительно, но число омматидиев может варьироваться даже внутри одной систематической группы: например, ряд видов жуков-жужелиц, обитающих на открытых пространствах, имеют хорошо развитые фасеточные глаза с большим количеством омматидиев, в то время как у жужелиц, обитающих под камнями, глаза сильно редуцированы и состоят из небольшого числа омматидиев.

Верхний слой омматидиев представлен роговицей (хрусталиком) – участком прозрачной кутикулы,



Сложный фасеточный глаз бабочки большой вощиной огневки (*Galleria mellonella*)



Сложный фасеточный глаз насекомого состоит из отдельных единиц – фасеток (омматидий). Каждый омматидий является многоклеточным образованием, включающим в себя диоптрические структуры (роговицу и кристаллический конус), фоторецепторы – ретиальные клетки с фоточувствительным пигментом родопсином, а также экранирующие клетки со светопоглощающими пигментами. Родопсин находится в мембране множества микроскопических трубочек-ворсинок, составляющих рабдомер.

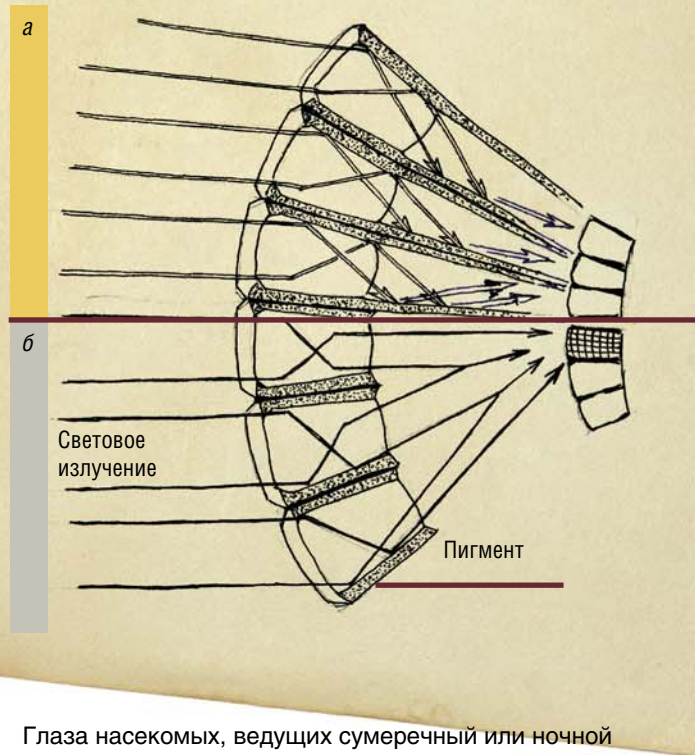
Рис. Н. Крюковой (ИСиЭЖ СО РАН, Новосибирск)

секретируемой специальными клетками, которая представляет собой своеобразную шестигранную двояковыпуклую линзу. Под роговицей у большинства насекомых располагается прозрачный кристаллический конус, структура которого может различаться у разных видов. У некоторых видов, особенно ведущих ночной образ жизни, в светопреломляющем аппарате имеются дополнительные структуры, играющие главным образом роль антибликового покрытия и увеличивающие светопропускание глаза.

Изображение, сформированное хрусталиком и кристаллическим конусом, попадает на светочувствительные *ретиальные* (зрительные) клетки, представляющие собой нейрон с коротким хвостиком-аксоном. Несколько ретиальных клеток образуют единый цилиндрический пучок – *ретинулу*. Внутри каждой такой клетки на стороне, обращенной внутрь омматида, расположен *рабдомер* – особое образование из множества (до 75–100 тыс.) микроскопических трубочек-ворсинок, в мембране которых содержится зрительный пигмент. Как и у всех позвоночных, этим пигментом является *родопсин* – сложный окрашенный белок. Благодаря огромной площади этих мембран фоторецепторный нейрон содержит большое количество молекул родопсина (например, у плодовой мушки *Drosophila* это число превышает 100 млн!).

Рабдомеры всех зрительных клеток, объединенные в *рабдом*, и являются светочувствительными, рецепторными элементами фасеточного глаза, а все ретинулы в совокупности составляют аналог нашей сетчатки.

Светопреломляющий и светочувствительный аппарат фасетки по периметру окружают клетки с пигментами,



Глаза насекомых, ведущих сумеречный или ночной образ жизни, отличаются особыми скотопическими омматидами. В их экранирующих клетках пигменты могут мигрировать: при достаточном количестве света они распределяются равномерно (а), а при недостатке – скапливаются в верхней части клеток (б). В результате в темное время световое излучение с одного омматида может попадать на рецепторные клетки соседних омматидиев.
Рис. Н. Крюковой

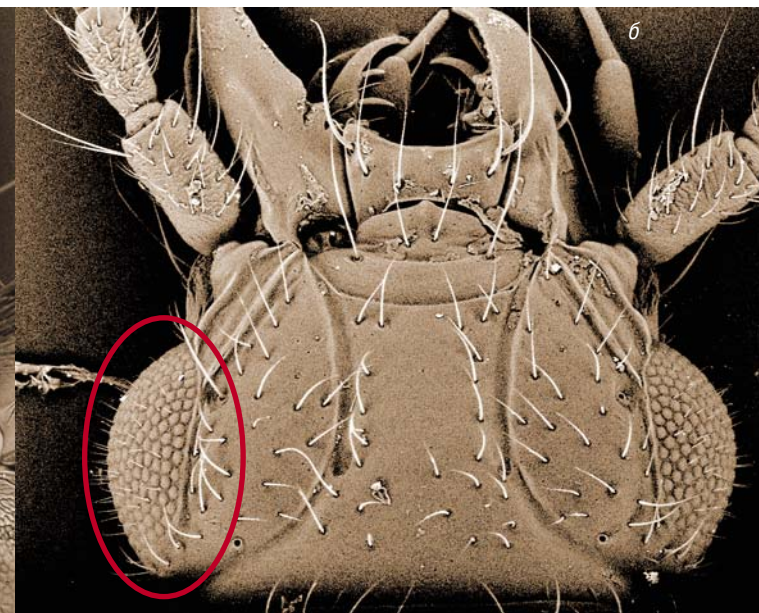
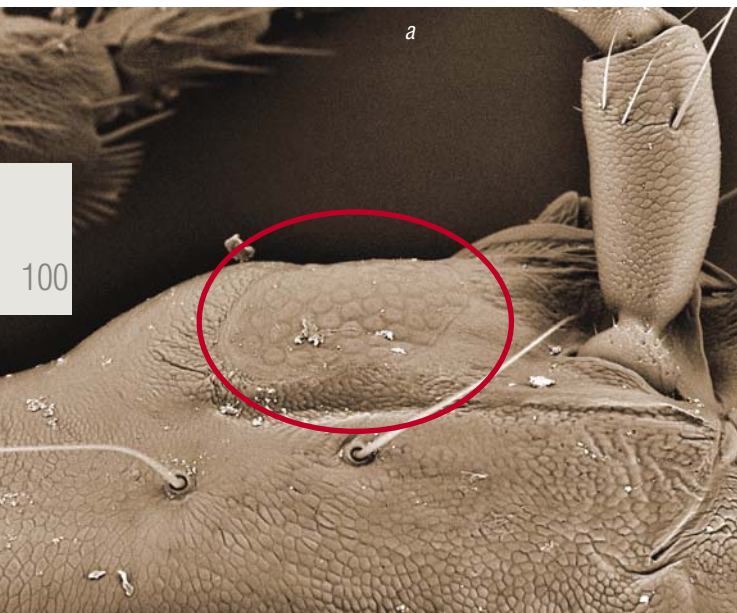


У этой мухи из рода *Helophilus* помимо больших фасеточных глаз имеется три дополнительных простых глазка (оцелли)

которые играют роль световой изоляции: благодаря им световой поток, преломляясь, попадает на нейроны только одного омматида. Но так устроены фасетки в так называемых *фотопических* глазах, приспособленных к яркому дневному свету.

Для видов, ведущих сумеречный или ночной образ жизни, характерны глаза другого типа – *скотопические*. Такие глаза имеют ряд приспособлений к недостаточному световому потоку, например, очень большие рабдомеры. Кроме того, в омматидах таких глаз светоизолирующие пигменты могут свободно мигрировать внутри клеток, благодаря чему световой поток может попадать на зрительные клетки соседних омматидиев. Этот феномен лежит в основе и так называемой *темновой адаптации* глаз насекомых – увеличению чувствительности глаза при недостаточном освещении.

При поглощении рабдомерами фотонов света в ретиальных клетках генерируются нервные импульсы, которые по аксонам направляются в парные зрительные доли головного мозга насекомых. В каждой зрительной



У многих насекомых, живущих в условиях низкой освещенности, глаза значительно упрощаются. Например, у жука-жужелицы вида *Amerizus teles* (а), живущего под камнями, глаза состоят из нескольких десятков фасеток, расположенных почти в одной плоскости. А жужелицы вида *Perileptus japonicus* (б), ведущие совершенно иной образ жизни, обладают выпуклыми фасеточными глазами с большим числом фасеток. Сканирующая электронная микроскопия. Фото Р. Дудко



женном» месте. И в этом смысле насекомые не отстают от позвоночных: помимо обычных фасеточных глаз у них встречаются небольшие дополнительные глазки – *оцелли*, расположенные на лобно-теменной поверхности, и *стеммы* – по бокам головы.

Оцелли имеются в основном у хорошо летающих насекомых: взрослых особей (у видов с полным превращением) и личинок (у видов с неполным превращением). Как правило, это три глазка, расположенные в виде треугольника, но иногда срединный либо два боковых могут отсутствовать. По строению оцелли сходны с омматидиями: под светопреломляющей линзой у них находится слой прозрачных клеток (аналог кристаллического конуса) и сетчатка-ретикула.

Стеммы можно обнаружить у личинок насекомых, развивающихся с полным превращением. Их число и расположение варьирует в зависимости от вида: с каждой стороны головы может располагаться от одного до тридцати глазков. У гусениц чаще встречается шесть глазков, расположенных так, что каждый из них имеет обособленное поле зрения.

В разных отрядах насекомых стеммы могут отличаться друг от друга по строению. Эти различия связаны, возможно, с их происхождением от разных морфологических структур. Так, число нейронов в одном глазке может составлять от нескольких единиц до нескольких тысяч. Естественно, это сказывается на восприятии насекомыми окружающего мира: если некоторые из них могут видеть лишь перемещение светлых и темных пятен, то другие способны распознавать размеры, форму и цвет предметов.

Как мы видим, и стеммы, и омматидии представляют собой аналоги одиночных фасеток, пусть и видоизмененные. Однако у насекомых имеются и другие «запасные» варианты. Так, некоторые личинки

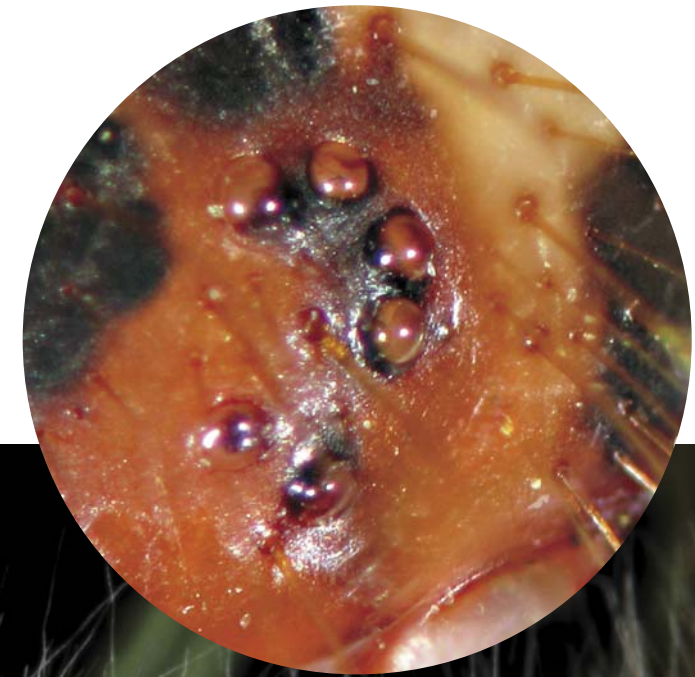
(особенно из отряда двукрылых) способны распознать свет даже при полностью затененных глазках с помощью фоточувствительных клеток, расположенных на поверхности тела. А некоторые виды бабочек имеют так называемые генитальные фоторецепторы.

Все такие фоторецепторные зоны устроены схожим образом и представляют собой скопление из нескольких нейронов под прозрачной (или полупрозрачной) кутикулой. За счет подобных дополнительных «глаз» личинки двукрылых избегают открытых пространств, а самки бабочек используют их при откладке яиц в затененных местах.

Фасеточный полярOID

На что способны сложноустроенные глаза насекомых? Как известно, у любого оптического излучения можно выделить три характеристики: *яркость*, *спектр* (длину волны) и *поляризацию* (ориентированность колебаний электромагнитной составляющей).

Наряду со сложными фасеточными глазами у насекомых встречаются и простоустроенные дополнительные глазки, аналоги одиночных фасеток. На с. 102 – клоп рода *Carpocoris* с двумя дополнительными глазками-оцеллиями; внизу – гусеница коконопряда, рода *Malacosoma* с группой дополнительных глазков-стемм



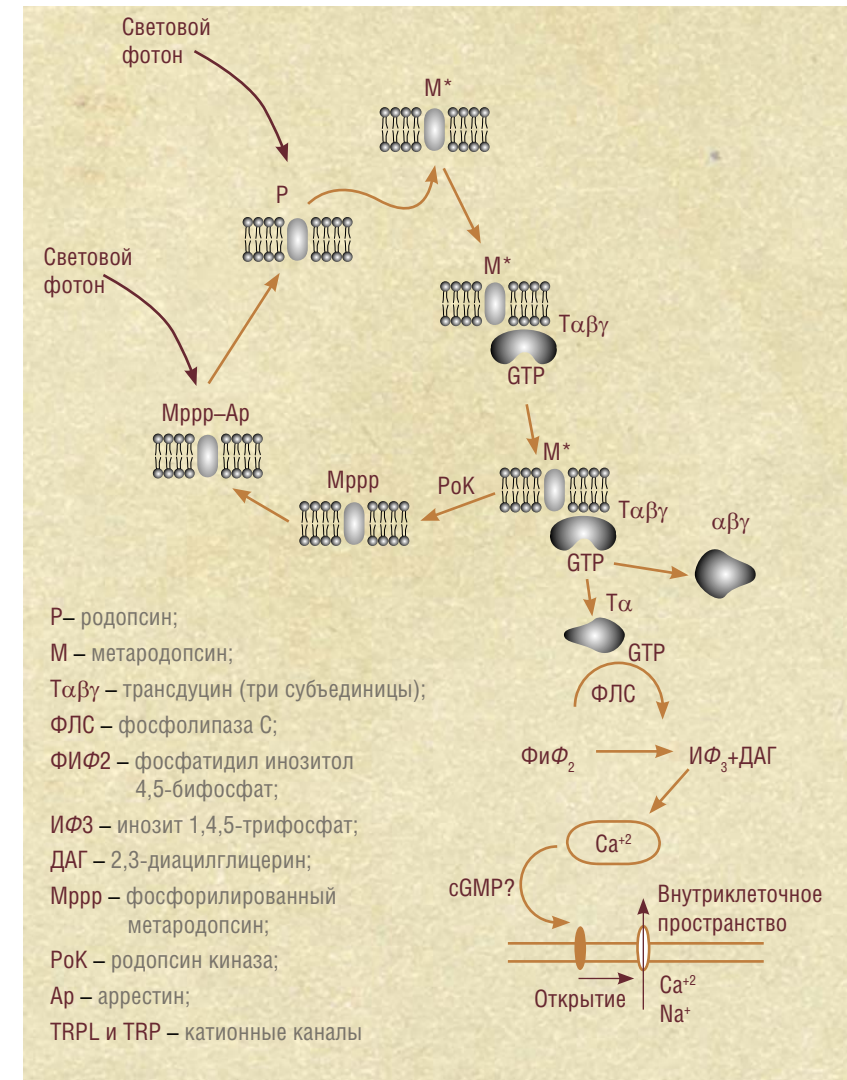
доле имеется по три ассоциативных центра, где и осуществляется переработка потока зрительной информации, одновременно идущей от множества фасеток.

От одного до тридцати

Согласно древним легендам, у людей некогда имелся «третий глаз», отвечающий за сверхчувственное восприятие. Доказательств этому нет, однако та же минога и другие животные, такие как ящерица-гаттерия и некоторые земноводные, имеют необычные светочувствительные органы в «неполо-

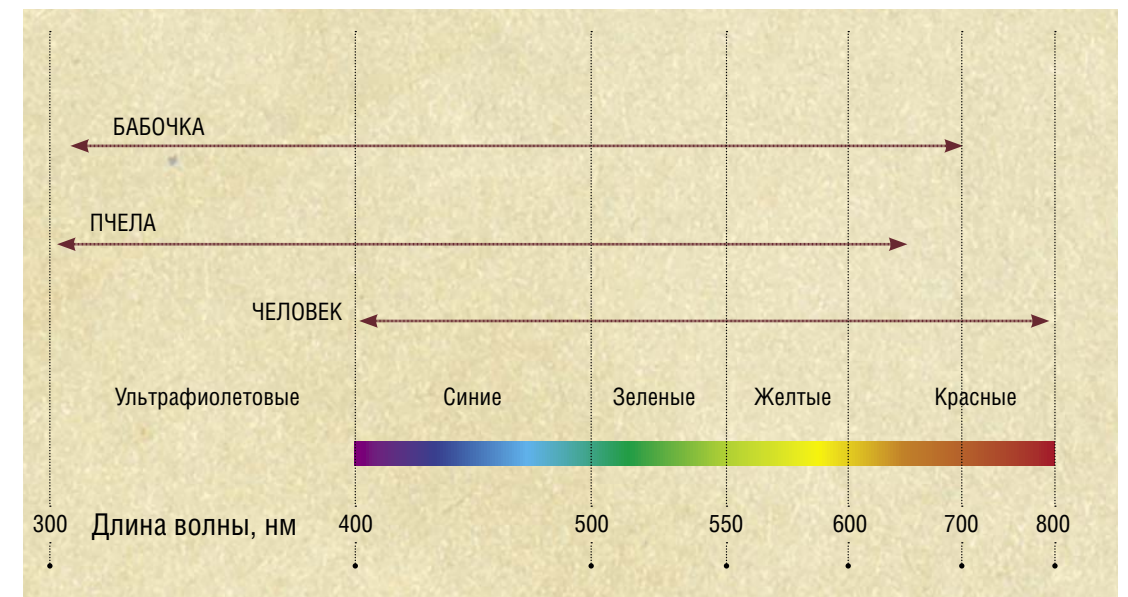


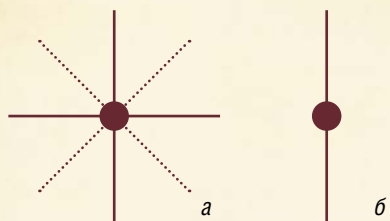
В фасеточных глазах чешуекрылых все фасетки обычно могут воспринимать как обычный, так и поляризованный свет.
На фото – бабочка-нимфалида, шашечница, из рода *Melitaea*



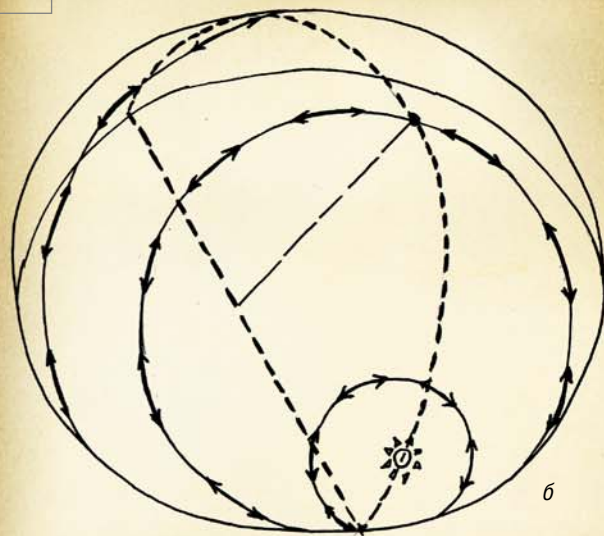
У насекомых, в отличие от позвоночных животных, молекула светочувствительного пигмента родопсина при попадании на нее фотона света не распадается, а переходит в метародопсин. За счет этого происходит активация всей сложной цепи фототрансдукции – процесса преобразования светового сигнала в электрические импульсы в фоторецепторных нейронах, лежащего в основе формирования зрительных образов. В итоге метародопсин под действием фотона восстанавливается в родопсин, т.е. для завершения полного цикла трансдукции необходимо поглощение двух фотонов света

Наиболее интенсивно на Землю падают лучи в диапазоне 300–900 нм с пиком около 500 нм. Это, по-видимому, и определило ширину спектра восприятия у многих животных, в частности, у человека (400–800 нм). У других животных могут происходить смещение или расширение как воспринимаемого спектра в целом, так и излучения определенных длин волн (цветовое зрение).
Внизу – спектры чувствительности фоторецепторов разных организмов





В обычном неполяризованном свете (а) колебания электрической и магнитной составляющей идут в самых разных плоскостях, в поляризованном можно выделить одну плоскость колебаний (б). Феномен поляризации света, исходящего от неба (в), был открыт еще в XIX в., хотя свое теоретическое объяснение получил позже. Поляризован как отраженный, так и рассеянный свет неба, претерпевший многократное отражение от молекул газа и преломившийся в каплях воды или ледяных кристаллах



Линиями обозначены участки с одинаковой степенью поляризации; двойными стрелками – направления колебаний поляризованного света

Спектральную характеристику света насекомые используют для регистрации и распознавания объектов окружающего мира. Практически все они способны воспринимать свет в диапазоне от 300–700 нм, в том числе и недоступную для позвоночных ультрафиолетовую часть спектра.

Как правило, разные цвета воспринимаются различными областями сложного глаза насекомых. Такая «локальная» чувствительность может различаться даже в пределах одного вида в зависимости от половой принадлежности особи. Нередко в одном и том же омматидии могут находиться различные цветовые рецепторы. Так, у бабочек рода *Papilio* два фоторецептора имеют зрительный пигмент с максимумом поглощения 360, 400 или 460 нм, еще два – 520 нм, а остальные – от 520 до 600 нм (Kelber et al., 2001).

Но это далеко не все, что умеет глаз насекомого. Как упоминалось выше, в зрительных нейронах фоторецепторная мембрана микроворсинок рабдомера свернута в трубку круглого или гексагонального сечения. За счет этого часть молекул родопсина не участвуют в поглощении света из-за того, что дипольные моменты этих молекул располагаются параллельно ходу светового луча (Говардовский, Грибакин, 1975). В результате микроворсинка приобретает *дихроизм* – способность к различному поглощению света в зависимости от его поляризации. Повышению поляризационной чувствительности омматидия способствует и то, что молекулы зрительного пигмента не располагаются в мембране хаотично, как у человека, а ориентированы в одном направлении, да к тому же жестко закреплены.

Если глаз способен различить два источника света на основе их спектральных характеристик вне зависи-

мости от интенсивности излучения, можно говорить о *цветовом зрении*. Но если он делает это, фиксируя поляризационный угол, как в данном случае, мы имеем все основания говорить о *поляризационном зрении* насекомых.

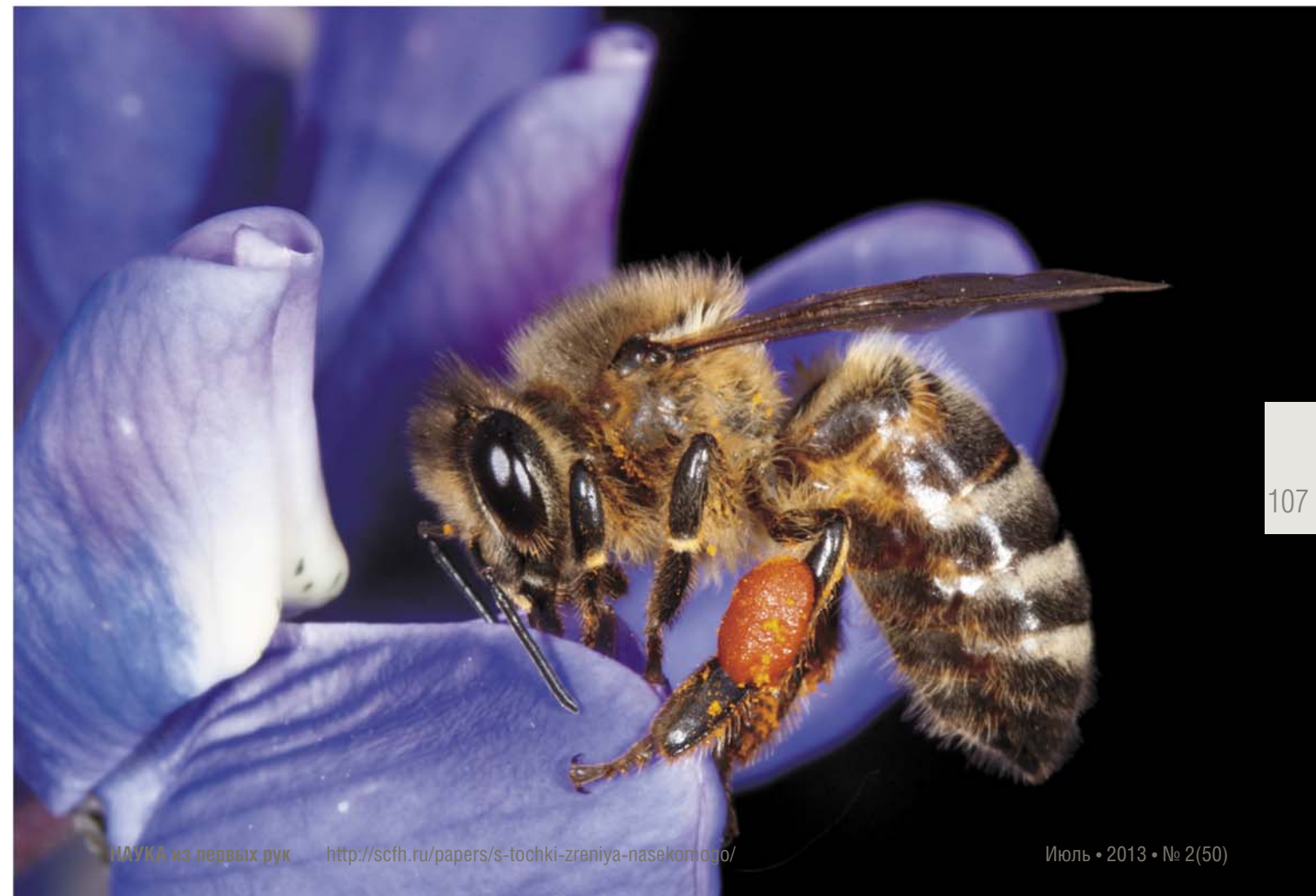
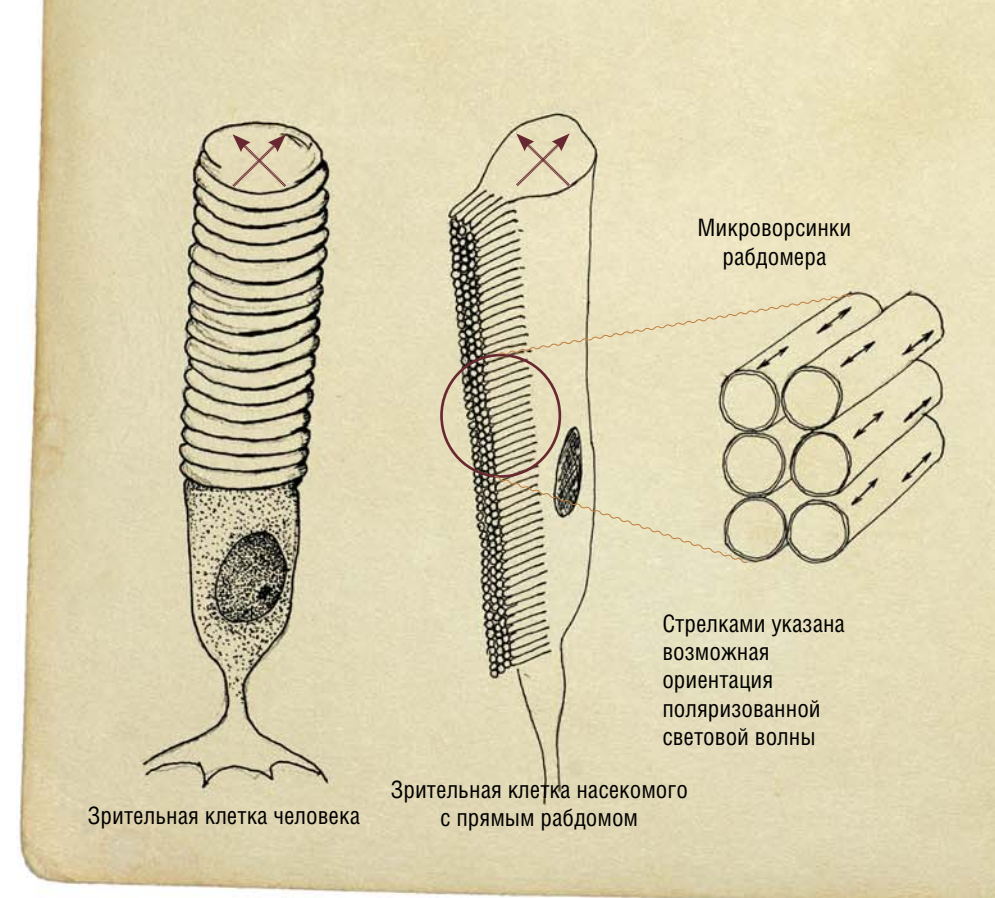
Как же воспринимают насекомые поляризованный свет? Исходя из структуры омматидия, можно предположить, что все фоторецепторы должны быть одновременно чувствительными как к определенной длине (длинам) световых волн, так и к степени поляризации света. Но в таком случае могут возникнуть серьезные проблемы – так называемое *ложное восприятие цвета*. Так, свет, отраженный с глянцевой поверхности листьев или водной глади, частично поляризуется. В этом случае мозг, анализируя данные фоторецепторов, может ошибиться в оценке интенсивности окраски либо формы отражающей поверхности.

Насекомые научились успешно справляться с подобными трудностями. Так, у ряда насекомых (в первую очередь мух и пчел) в омматидиях, воспринимающих только цвет, формируется рабдом *закрытого типа*, в котором рабдомеры не контактируют между собой. При этом у них имеются также омматидии с обычными прямыми рабдомами, чувствительные и к поляризованному свету. У пчел такие фасетки располагаются по краю глаза (Wehner, Bernard, 1993). У некоторых бабочек искажения при восприятии цвета снимаются за счет значительного искривления микроворсинок рабдомеров (Kelber et al., 2001).

У многих других насекомых, особенно у чешуекрылых, во всех омматидиях сохраняются обычные прямые рабдомы, поэтому их фоторецепторы способны одновременно воспринимать и «цветной», и поляризованный

Насекомые обладают поляризационным зрением благодаря особой структуре своих фоторецепторов. В отличие от человека, у насекомых фоточувствительные мембраны, содержащие зрительный пигмент родопсин, свернуты в трубочки. Благодаря этому они способны воспринимать свет определенной степени поляризации. В случае, если зрительные клетки в рабдоме будут свернуты или скручены, глаз потеряет способность воспринимать поляризованный свет. Рис. Н. Крюковой

Пчелы способны почти также хорошо различать поляризацию света, как его длину волны (цвет) и яркость. На фото – пчела медоносная (*Apis mellifera*) на люпине. На задних лапках видна обножка, комочек собранной насекомым цветочной пыльцы



свет. При этом каждый из этих рецепторов чувствителен лишь к определенному поляризованному углу преференции и определенной длине световой волны. Такое сложное зрительное восприятие помогает бабочкам при питании и откладке яиц (Kelber et al., 2001).

Незнакомая Земля

Можно бесконечно углубляться в особенности морфологии и биохимии глаза насекомых и все равно затруднится в ответе на такой простой и одновременно невероятно сложный вопрос: как видят насекомые?

Человеку трудно даже представить образы, возникающие в головном мозге насекомых. Но все нужно заметить, что популярная сегодня *мозаичная теория зрения*, согласно которой насекомое видит изображение в виде своеобразного пазла из шестигранников, не совсем точно отражает суть проблемы. Дело в том, что хотя каждая единичная фасетка фиксирует отдельный образ, являющийся лишь частью цельной картины, эти изображения могут перекрываться с изображениями, полученными с соседних фасеток. Поэтому изображение мира, полученное с помощью огромного глаза стрекозы, состоящего из тысяч миниатюрных камер-фасеток, и «скромного» шестифасеточного глаза муравья, будет сильно различаться.

Что касается *остроты зрения* (*разрешающей способности*, т. е. способности различать степень расчле-

ненности объектов), то у насекомых она определяется количеством фасеток, приходящихся на единицу выпуклой поверхности глаза, т. е. их угловой плотностью. В отличие от человека, глаза насекомых не обладают аккомодацией: радиус кривизны светопроводящей линзы у них не меняется. В этом смысле насекомых можно назвать близорукими: они видят тем больше деталей, чем ближе к объекту наблюдения находятся.

При этом насекомые с фасеточными глазами способны различать очень быстро движущиеся объекты, что объясняется высокой контрастностью и малой инерционностью их зрительной системы. К примеру, человек может различать лишь около двадцати вспышек в секунду, а пчела – в десять раз больше! Такое свойство жизненно важно для быстролетающих насекомых, которым нужно принимать решения непосредственно в полете.

Цветовые образы, воспринимаемые насекомыми, также могут быть гораздо сложнее и необычнее, чем у нас. К примеру, цветок, кажущийся нам белым, часто скрывает в своих лепестках множество пигментов, способных отражать ультрафиолетовый свет. И в глазах насекомых-опылителей он сверкает множеством красочных оттенков – указателей на пути к нектару.

Название этого вида равнокрылых стрекоз говорит само за себя – стрелка красноглазая (*Erythromma najas*)

Считается, что насекомые «не видят» красный цвет, который в «чистом виде» и встречается в природе чрезвычайно редко (исключение – тропические растения, опыляемые колибри). Однако цветы, окрашенные в красный цвет, часто содержат и другие пигменты, способные отражать коротковолновые излучения. А если учесть, что многие из насекомых способны воспринимать не три основных цвета, как человек, а больше (иногда до пяти!), то их зрительные образы должны представлять собой просто феерию красок.

И, наконец, «шестое чувство» насекомых – поляризованное зрение. С его помощью насекомым удается увидеть в окружающем мире то, о чем человек может получить лишь слабое представление с помощью специальных оптических фильтров. Насекомые же таким способом могут безошибочно определять местонахождение солнца на облачном небе и использовать поляризованный свет в качестве «небесного компаса». А водные насекомые в полете обнаруживают водоемы по частично поляризованному свету, отраженному от зеркала воды (Schwind, 1991). Но вот какие при этом они «видят» образы, человеку просто невозможно себе представить...

У всех, кто по той или иной причине интересуется зрением насекомых, может возникнуть вопрос: почему у них не сформировался камерный глаз, подобный человеческому глазу, со зрачком, хрусталиком и прочими приспособлениями?

На этот вопрос в свое время исчерпывающе ответил выдающийся американский физик-теоретик, Нобелевский лауреат Р. Фейнман: «Этому мешает несколько довольно интересных причин. Прежде всего, пчела слишком мала: если бы она имела глаз, похожий на наш, но соответственно уменьшенный, то размер зрачка оказался бы порядка 30 мкм, а поэтому дифракция была бы столь велика, что пчела все равно не могла бы видеть лучше. Слишком маленький глаз – это не очень хорошо. Если же такой глаз сделать достаточного размера, то он должен быть не меньше головы самой пчелы. Ценность сложного глаза в том и состоит, что он практически не занимает места – просто тоненький слой на поверхности головы. Так что, прежде чем давать советы пчеле, не забывайте, что у нее есть свои собственные проблемы!»

Поэтому неудивительно, что насекомые выбрали свой путь в зрительном познании мира. Да и нам, чтобы видеть его с точки зрения насекомых, пришлось бы, для сохранения привычной остроты зрения, обзавестись громадными фасеточными глазами. Вряд ли такое приобретение оказалось бы нам полезным с точки зрения эволюции. Каждому – свое!



Вот так мог выглядеть ваш домашний питомец, если бы позвоночные в свое время сделали выбор в пользу фасеточного глаза. Фотоколлаж автора

Литература
 Тыщенко В. П. Физиология насекомых. М.: Высшая школа, 1986, 304 С.
 Klowden M. J. Physiological Systems in Insects. Academ Press, 2007. 688 p.
 Nation J. L. Insect Physiology and Biochemistry. Second Edition: CRC Press, 2008.

В публикации использованы фото автора



ЖИВОЕ «ЗОЛОТО» ЯКУТИИ

Привычным брендом Якутии сегодня являются такие природные ископаемые, как алмазы, золото, нефть и газ. Но все они относятся к истощимым ресурсам, а эксплуатация их месторождений крайне негативно отражается на хрупких, легкоранимых северных экосистемах. В отличие от минеральных запасов, биологические ресурсы Севера при бережном отношении к экосистемам и рациональном хозяйствовании действительно являются возобновляемыми, т. е. практически неисчерпаемыми. Однако по сравнению с алмазами и золотом рыночная стоимость такого сырья невелика, а огромные транспортные расходы делают их использование в лучшем случае малорентабельным. И здесь на помощь северянам могут придти современные технологии, предусматривающие глубокую переработку исходного биологического сырья с получением ценных конечных продуктов

© Б. М. Кершенгольц,
Г. В. Филиппова, А. А. Шеин,
Е. С. Хлебный, 2013



Человечество с давних времен использует в медицине лекарственные растения, однако только в последние десятилетия стало возможным понять механизмы действия подобных лекарств и эффективно извлекать из растительного или животного сырья те биологически активные вещества (БАВ), которые оказывают профилактический и лечебный эффект благодаря своим антиоксидантным, антибактериальным, иммуномодуляторным или цитостатическим свойствам.

При этом оказалось, что выраженным регуляторным действием на организм человека, как правило, обладают не отдельные биоактивные вещества, а их определенный

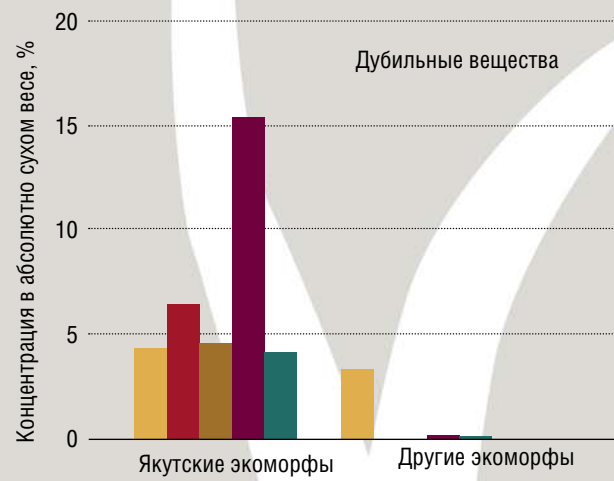
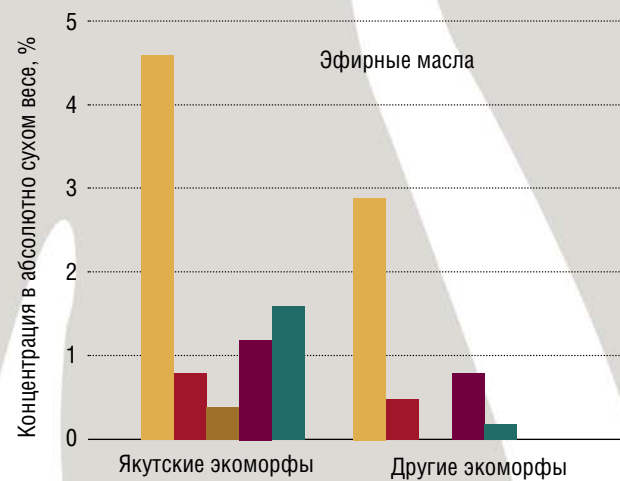
КЕРШЕНГОЛЬЦ Борис Моисеевич – профессор, действительный член АН Республики Саха (Якутия), доктор биологических наук, зам. директора Института биологических проблем криолитозоны СО РАН по научной работе, зав. лабораторией, почетный работник науки и техники РФ (2008), лауреат государственной премии Республики Саха (Якутия) в области науки и техники (2013). Автор и соавтор более 350 научных работ, 25 патентов

ФИЛИПОВА Галина Валерьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, автор и соавтор 45 научных работ и 3 патентов

ШЕИН Алексей Анатольевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, автор и соавтор 85 научных работ, 2 патентов

ХЛЕБНЫЙ Ефим Сергеевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, автор и соавтор 43 научных работ и 5 патентов

Ключевые слова: Северо-восток России, ягель, панты, лишайниковые кислоты, сверхкритические технологии, механохимическая активация.
Key words: North-East Russia, reindeer moss, antler, usnic acids, supercritical technologies, mechano-chemical activation



- – сосна карликовая;
- – полынь пижмолистная;
- – полынь замещающая;
- – эстрагон;
- – рододендрон Адамса

При сравнении количественного содержания основных групп биологически активных веществ в вегетативных органах дикорастущих растений Якутии и других регионов Сибири и Дальнего Востока якутские аборигены являются несомненными лидерами. По: (Филиппова, 2003)

ансамбль (Ашмарин, 1985). В природном растительном сырье содержится множество биоактивных веществ, различающихся по строению и пространственной структуре – изомеры, гомологи, производные по степени окисленности и т. д. Такое структурное разнообразие БАВ позволяет уменьшить вероятность отрицательных побочных эффектов лечения, столь частых при использовании обычных монокомпонентных химиофармацевтических препаратов.

Искусственно синтезировать все компоненты подобного комплекса сложно, затратно, да и не нужно: эту задачу относительно легко решить путем высокотехнологичной переработки соответствующего возобновляемого растительного сырья. А ряд необычных биохимических свойств, присущих именно северным живым организмам, делает их особенно привлекательными для использования в медицине и фармакологии.

Северный резонанс

Уникальность биохимии растений и животных Севера, заключается в присутствии им высокого структурного разнообразия на молекулярном уровне.

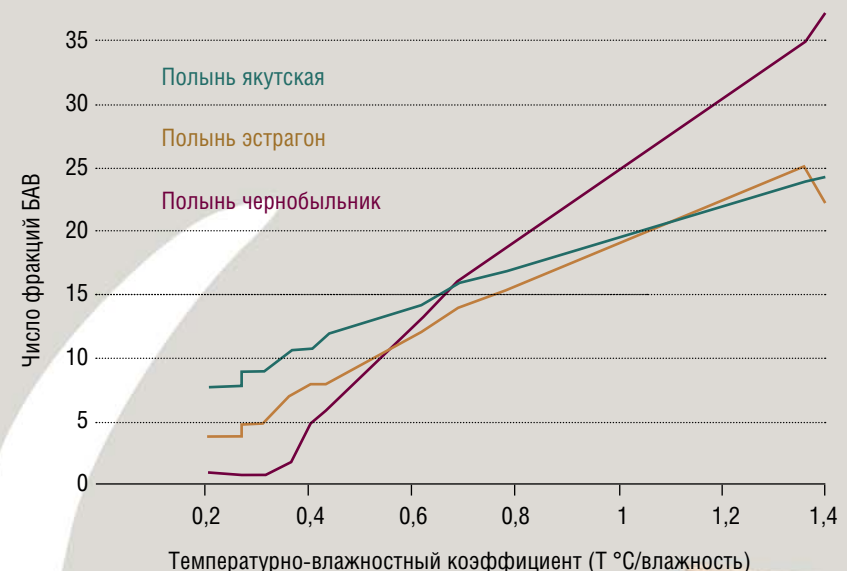
Дело в том, что комплекс биологически активных веществ в организмах существенно различается в зависимости от климатогеографических условий: места произрастания, температурно-влажностного режима и т. п. Так, еще в конце XIX в. знаменитый русский химик А. М. Бутлеров отмечал, что температура, влажность воздуха и степень освещенности влияют на накопление в растениях эфирных масел – группы соединений, оказывающих выраженное физиологическое действие

(Балковая, 1958). Дальнейшие исследования условий, способствующих накоплению в тканях растений эфирных масел, подтвердили влияние этих факторов на концентрацию эфирных масел у разных видов растений (Пигулевский, 1950; Медведева, 1960; Хотин, 1968; Филиппова, 2003; и др.).

Схожий эффект прослеживается и для других биологически активных соединений. Например, в плодах груши, произрастающих в югобережной горной зоне, в несколько раз больше аскорбиновой кислоты, катехинов и пектиновых веществ по сравнению с аналогичными плодами, выросшими в степных условиях (Кочило и др., 1985). Зачастую условия среды вызывают не только количественные, но и глубокие качественные сдвиги. Например, в Таджикистане зонтичное растение юган приобретает ядовитые свойства лишь при произрастании в горах, но не в долинах (Кретович, 1986).

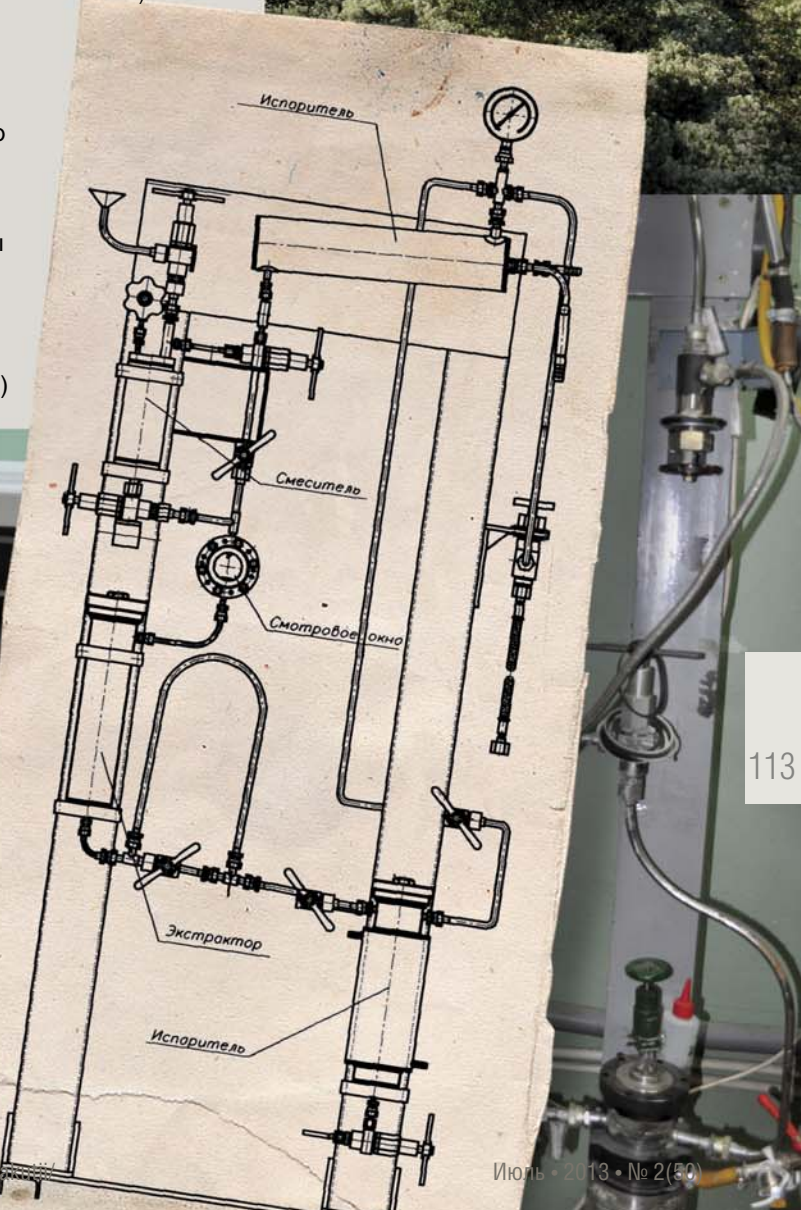
В целом выявлена следующая закономерность: биохимическое разнообразие существенно выше у организмов, обитающих в наиболее экстремальных условиях. Само это разнообразие является частью комплекса адаптивных механизмов, функционирующих на биохимическом, физиологическом, морфологическом уровнях, которые и позволяет им сохранять жизнеспособность в более широких пределах условий среды.

В частности, ткани растений и животных, обитающих на Севере, содержат в 1,5–2,5 раза больше биологически активных веществ регуляторного и защитного действия по сравнению с аналогичными видами, живущими в более мягких климатических условиях. И этот феномен определяет их высокий потенциал использования в фармакологии.



Число фракций биологически активных веществ в надземной части нескольких видов полыни свидетельствует о том, что молекулярное разнообразие в тканях растения напрямую связано с экстремальностью условий его обитания. По: (Кершенгольц Б.М., Филиппова и др., 2002)

В Институте биологических проблем криолитозоны СО РАН для производства препаратов из растительного сырья используются современные технологии механохимической активации (мельница-активатор) (внизу) и сверхкритической флюидной экстракции (справа)





Разработкой технологий производства биопрепаратов из местного природного сырья занимаются в Институте биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск) при участии УНПК «Биотехнологии» Северо-Восточного федерального университета. Еще в 1990-е гг. здесь с использованием технологий ультра- и нанофильтрации и низкотемпературного фракционирования была создана серия препаратов («Эпсорин», «Роксирин» и др.) с иммуномодуляторным, адаптогенным и радиопротекторным действием из пантов северного оленя, эндокринных органов других аборигенных видов животных и тканей растений.

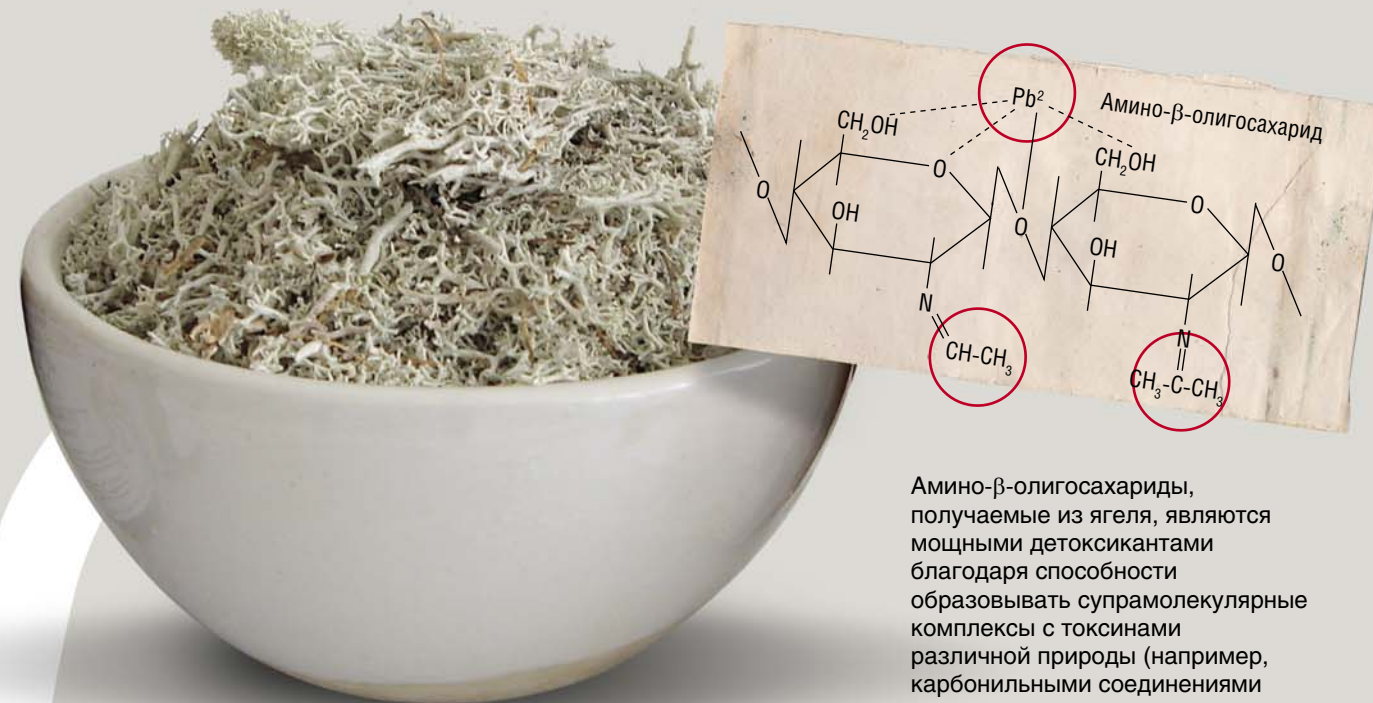
Приметой тундровых ландшафтов (а также основным компонентом зимнего рациона северных оленей) служит легендарный *ягель*, называемый также оленьим мхом. Это название объединяет группу лишайников рода *Cladonia*, тела (*слоевища*) которых содержат массу биологически активных веществ, в том числе особые лишайниковые полисахариды и кислоты. На основе этого сырья в институте в последние годы создан ряд уникальных биологически активных препаратов.

Лишайник– целитель

Основным действующим веществом препарата «Ягель» являются аминок-β-олигосахариды. Эти относительно небольшие молекулы способны легко всасываться в полости рта и желудочно-кишечном тракте, проникать в межклеточные жидкости и в сами клетки. В организме они действуют как «чистильщики», образуя комплексы с «враждебными» для организма веществами: от *эндотоксинов*, образующихся в организме при воспалительных процессах, токсикозах любой этиологии и химиотерапии, до *экзотоксинов* – тяжелых металлов, радионуклидов, органических канцерогенов и т.п. Эти комплексы затем выводятся из организма через почки (в случае, если среди токсинов преобладают водорастворимые компоненты) либо через кишечник (при преобладании жирорастворимых компонентов).

Аминок-β-олигосахариды имеют еще одно уникальное свойство: они способны бороться с метаболическими нарушениями: нормализовать уровень сахара крови у больных диабетом 2-го типа и уровень β-холестерина у страдающих атеросклерозом. Нормализация уровня сахара крови у диабетиков происходит за счет стимуляции секреции инсулина β-клетками поджелудочной железы, а также улучшения всасывания глюкозы в клетках за счет модификации поверхностного слоя клеточных мембран.

Сегодня ягель является не только кормом для оленей: недавно специалисты Северо-Восточного федерального университета создали опытные образцы хлеба «Полярный» с добавлением ягеля



Аминок-β-олигосахариды, получаемые из ягеля, являются мощными детоксикантами благодаря способности образовывать супрамолекулярные комплексы с токсинами различной природы (например, карбонильными соединениями и катионами тяжелых металлов)

Технология производства «Ягеля» включает экстракцию в среде *сверхкритического углекислого газа* – уникальной субстанции, обладающей одновременно свойствами и жидкости, и газа. В качестве растворителя такая среда соединяет преимущества газов (высокий коэффициент диффузии, невысокая вязкость) с достоинствами жидкостей (высокой плотностью и растворяющей способностью), при этом ее растворяющей способностью можно управлять, варьируя давление и температуру. Кроме того, в отличие от классических растворителей углекислый газ сам по себе не токсичен, дешев и легко регенерируется, а полученные экстракты не требуют дорогостоящей очистки.

При производстве «Ягеля» в среде сверхкритического CO₂ идет активный гидролиз лишайниковых полисахаридов: в оптимальных технологических условиях при давлении 95 атм. и температуре 45 °С выход аминок-β-олигосахаридов достигает 55–75 % в конечном продукте. Попутно происходит также экстракция флавоноидов и усниновых кислот, обладающих антибактериальным действием.

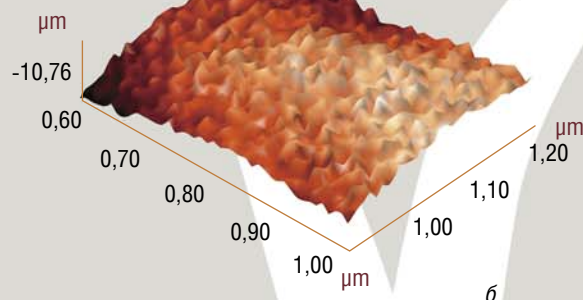
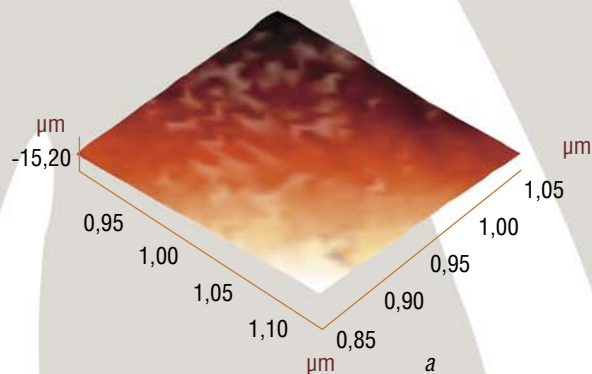
На основе лишайникового сырья разработан специальный антибактериальный препарат «Ягель-М» с комплексом природных антибиотиков. Лишайниковые кислоты (леканоровая, физодовая, усниновая и др.) способны эффективно уничтожить многие патогенные и условно-патогенные штаммы микроорганизмов. Кроме того, как было показано в прямых экспериментах, использование этих антибиотиков не приводит к формированию у микроорганизмов лекарственной устойчивости. (Филиппова и др., 2008)

«Ягель-М» получают путем так называемой *механохимической активации* слоевищ лишайников. Подобные технологии основаны на феномене химических и физико-химических превращений вещества, которые происходят в твердых телах в результате механических воздействий (например, при измельчении на специальных мельницах-активаторах). При производстве «Ягеля-М» в результате твердофазной химической реакции комплекс лишайниковых кислот переводится в водорастворимую форму, а затем выделяется. Эта механохимическая технология была разработана совместно со специалистами из Института химии твердого тела и механохимии СО РАН (Новосибирск).

Больше, чем доставка

Вышеупомянутое свойство лишайниковых β-олигосахаридов связывать в супрамолекулярные комплексы различные низкомолекулярные вещества позволяет использовать их не только как мощный детоксикант, но и, напротив, как активный носитель при введении в организм *фармаконов*, терапевтических веществ природного или искусственного происхождения.

Оказалось, что β-олигосахариды также можно получить в результате твердофазной химической реакции, при которой происходит расщепление очень прочных гликозидных связей в лишайниковых β-полисахаридах. В результате совместно с сотрудниками лаборатории механохимических биотехнологий Северо-Восточного Федерального Университета была разработана механохимическая технология производства из ягеля



высокоактивных твердофазных супрамолекулярных комплексов биологически активных веществ, в которых в качестве фармакона выступают антибактериальные лишайниковые кислоты либо уже известные препараты – антибиотики, иммуномодуляторы, адаптогены, цитостатики, витаминно-микроэлементные комплексы и т. д. (Аньшакова и др., 2012).

Независимо от природы действующего лекарственного вещества весь процесс образования как самого «носителя», так и его комплексов с фармаконом протекает в твердой фазе в одну стадию. В результате на выходе получается порошковый продукт, который можно капсулировать либо таблетировать. Поскольку «активное вещество» образует с β-олигосахаридами очень мелкие (наноразмерные) комплексы, доступность и, соответственно, эффективность лекарственного препарата повышается в 5–10 раз.

В институте в доклинических испытаниях была исследована эффективность двух препаратов, сырьем для которых, помимо слоевищ лишайников, служат якутские лекарственные растения – *родиола розовая* и *рододендрон золотистый*, известные своими тони-

Получаемый по механохимической технологии порошок ягеля состоит из наноразмерных частиц, что повышает доступность и эффективность препарата. *Вверху* – структура поверхности порошка обычного помело (а) и механохимического (б)

зирующими и адаптогенными свойствами. В экспериментах на мелких лабораторных животных такие «механохимические» препараты повышали устойчивость особей к физической нагрузке, их двигательную и исследовательскую активность в 2,5–50 раз, по сравнению с обычной измельченной растительной смесью либо однокомпонентным препаратом (Аньшакова, Кершенгольц, 2013).

По-видимому, механизмов такого эффективного биологического действия может быть несколько. Во-первых, лишайниковые β-олигосахариды, связывая то или иное «активное вещество», облегчают его транспорт в кровь и далее, к клеточным мембранам. Во-вторых, и сами β-олигосахариды с их высокими детоксикационными способностями могут повышать адаптивный потенциал и выносливость организма (в данном случае, способствуя выведению молочной кислоты, которая накапливается в мышечных клетках при физической нагрузке).

Очевидно, эти механохимические композиты можно использовать в качестве лечебно-профилактических средств для повышения физической активности, выносливости и работоспособности спортсменов и людей, ведущих активный образ жизни, особенно проживающих в экологически неблагоприятных регионах.

Схожие результаты получены и при применении механохимического композита из слоевищ лишайников и стандартного «витаминно-микроэлементного комплекса». На группе добровольцев было показано, что употребление этого препарата в течение 2–3 недель почти вдвое повышает устойчивость организма к действию физических нагрузок и экстремальных факторов различной природы по сравнению с потреблением

аналогичной смеси грубого помело (Аньшакова, Кершенгольц, 2013). Важно отметить, что применение всех этих механохимических препаратов не способствовало наращиванию мышечной массы, что означает, что они не обладают анаболическим действием.

Современные инновационные технологии позволяют не только наиболее экономичными и экологичными способами извлекать из природного сырья биологически активные вещества, но и в некоторых случаях создавать принципиально новые продукты непосредственно в процессе его переработки. В результате из недорогого и возобновляемого сырья удается получать продукты, пользующиеся большим рыночным спросом.

Такая высокотехнологичная глубокая переработка растительных ресурсов Севера позволяет производить ценные лечебно-профилактические препараты, а также полезные продукты для пищевой промышленности, сельского хозяйства и технической сферы. Безусловно, что дальнейшее развитие и внедрение в производство подобных разработок, создание соответствующих высокоэффективных и рентабельных отраслей промышленности внесет весомый вклад в решение ряда актуальных социально-экономических и экологических проблем северного региона.

Литература

Аньшакова В. В., Каратаева Е. В., Шарина А. С. и др. *Возобновляемое сырье Якутии: состав, свойства, биотехнологические аспекты применения (обзор). Часть 3. Разработки на основе лишайникового сырья (твердофазные биопрепараты)* // *Наука и образование*. 2012. №2. С. 86–92.

Кершенгольц Б. М. *Западные сенсации и российские приоритеты* // *Науч.-полит. и информ. журн. инноваций в России и за рубежом «НЭП-XXI век. Наука. Экономика. Промышленность»*. 2006. № 2. С. 78–80.

Кершенгольц Б. М., Филиппова Г. В. и др. *Изменения качественного и количественного состава эфирных масел полыней Якутии в зависимости от экстремальности погодных условий* // *Наука и образование*. 2002. №1. С.45-49.

Кершенгольц Б. М., Аньшакова В. В., Хлебный Е. С., Шеин А. А. *Интеграция образования, науки и производства как неотъемлемый компонент разработки и реализации инновационных биотехнологических разработок на Северо-Востоке России* // *Ежегодник «Россия: тенденции и перспективы развития»*. 2010. Вып., 5, Ч. II. С. 209–211.

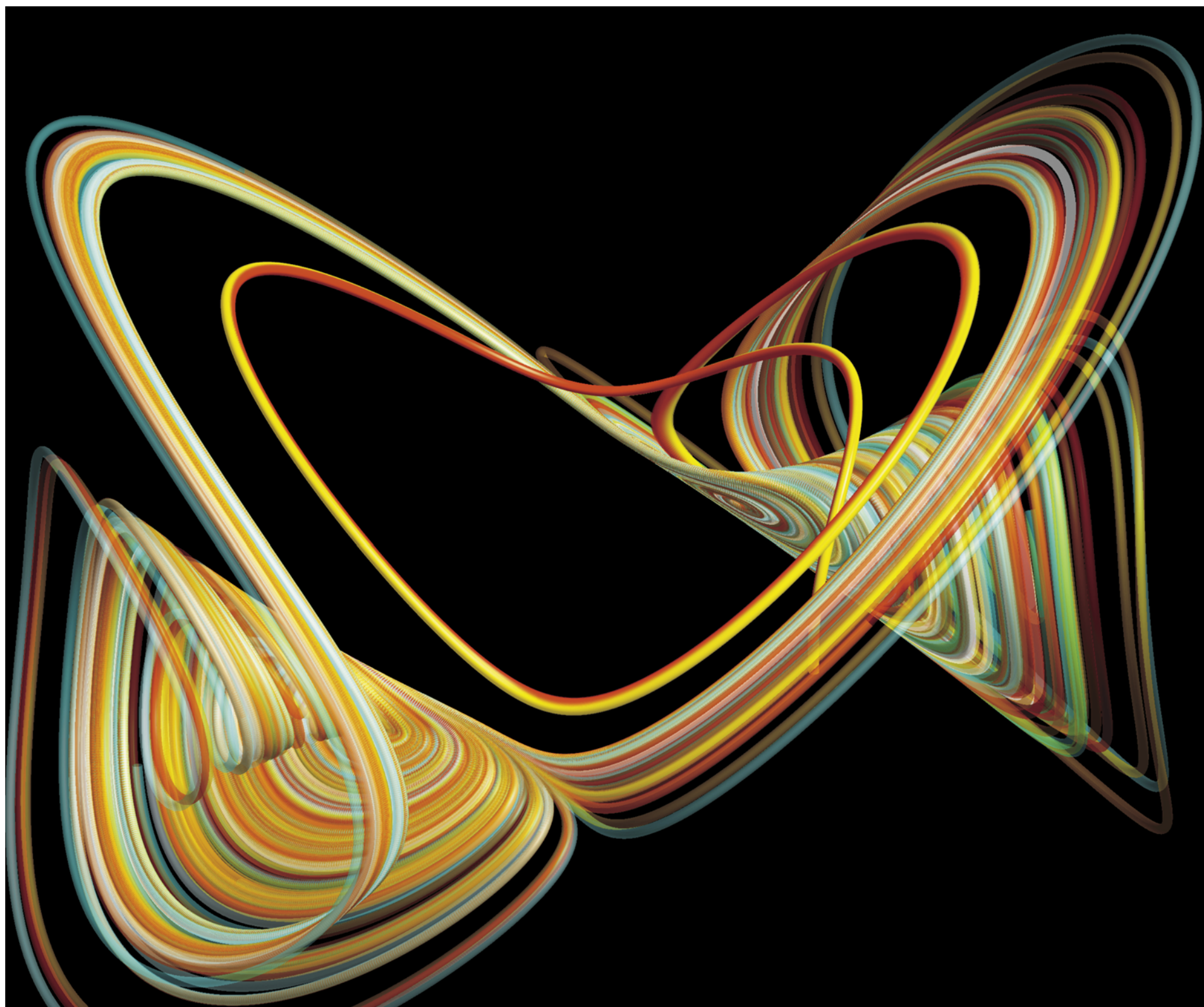
Филиппова Г. В. *Температурно-влажностные условия среды и антиоксиданты в дикорастущих травянистых растениях* // *Наука и образование*. 2003. №1. С. 42–46.

Авторы и редакция благодарят Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН за предоставленные фотографии



В ИБК СО РАН (Якутск) механохимическая технология активации растительного сырья была адаптирована для производства дигидрокверцетина, известного рекордной антиоксидантной активностью. Помимо медицины, это вещество можно использовать как консервант при производстве пищевых продуктов, а также для предупреждения старения полимерных материалов и коррозии металлических конструкций, в первую очередь нефтепроводов и газопроводов. Обычно дигидрокверцетин получают из отходов при лесозаготовке и лесопереработке лиственницы, но использование простой и экологически безопасной механохимической технологии позволяет в десять раз понизить его себестоимость и существенно расширить сферу его применения

МИР ГЛАЗАМИ НАУКИ



Хаос и геомагнитная инверсия



Магнитное поле Земли меняло полярность несколько сот раз за последние 160 млн лет. Перемена полярностей происходит нерегулярно и хаотично, а продолжительность этой перемены относительно коротка (обычно несколько тысяч лет) по сравнению с периодом постоянной полярности между изменениями.

На картинке показана простая детерминистическая модель, иллюстрирующая геомагнитную инверсию. Модель основана на нелинейном взаимодействии двух магнитных мод (дипольной и квадрупольной) и одной компоненты скорости потока внутри ядра Земли. Показаны типичные траектории в трехмерном фазовом пространстве. Соответствующий странный аттрактор воспроизводит нерегулярные изменения полюсов между двумя симметричными состояниями.

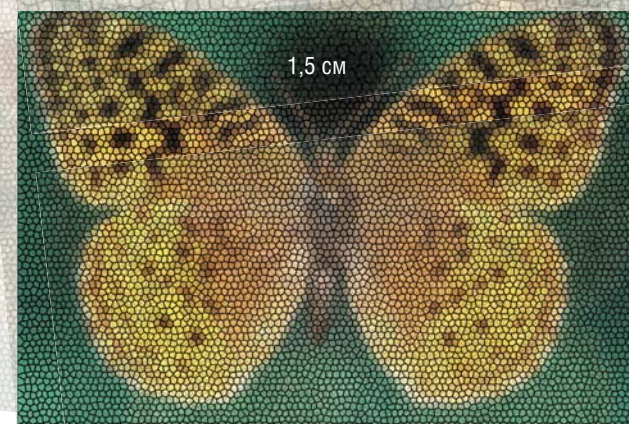
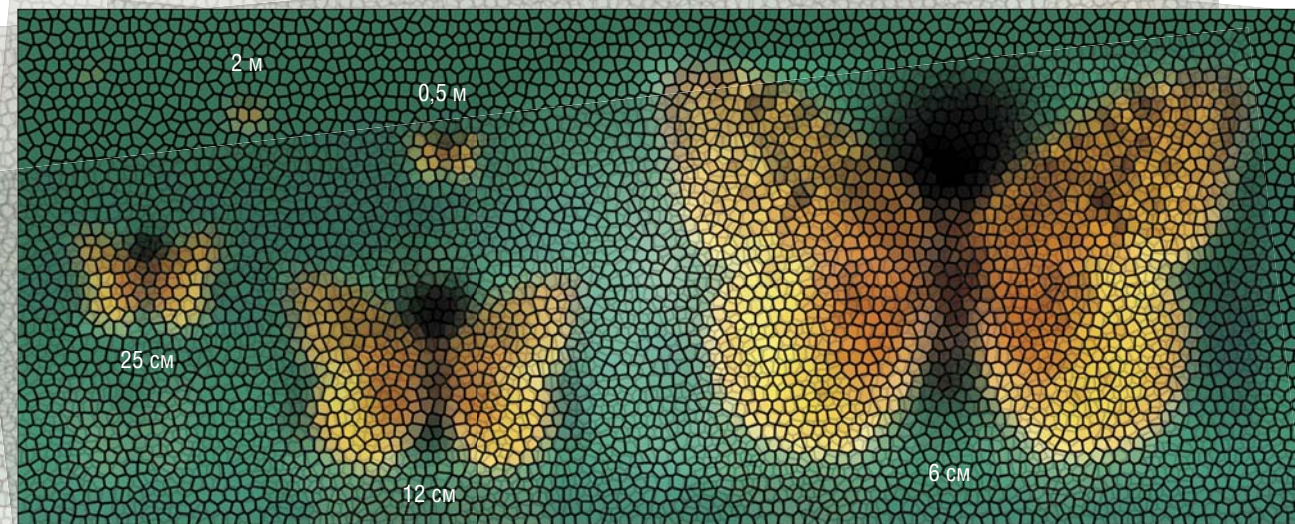
В то время как поведение в данной полярности строго хаотично и кажется случайным, путь, по которому следуют траектории во время изменения направления магнитного поля, всегда один и тот же: во время изменения магнитное поле меняет форму (от дипольной к квадрупольной структуре), а не просто исчезает.

К. Гиссинджер (Отделение астрофизических наук, Лаборатория физики плазмы, Принстонский университет, США) www.princeton.edu/artofscience

Детерминистическая модель изменений магнитного поля Земли

© Ch. Gissinger, 2013

С точки зрения бабочки



Это – результат моделирования изображения бабочки перламутровки Кибела (*Speyeria cybele*), каким его видит фасеточный глаз при приближении к объекту в диапазоне расстояний от 2 м до 1,5 см. Изображение для расстояния в 1,5 см смоделировано для глаза из 6,3 тыс. фасеток, что примерно соответствует максимальной разрешающей способности глаза перламутровки Кибела.

Внизу справа – обычная фотография бабочки

© H. S. Horn, 2013

Бабочки, или чешуекрылые, – древний и отличающийся огромным видовым разнообразием отряд насекомых с так называемым *полным превращением*. Жизненный цикл бабочек состоит из нескольких фаз, включая стадии гусеницы и куколки. Продолжительность жизни взрослых особей относительно невелика и может составлять всего лишь несколько часов. Их предназначение – встретить потенциального партнера, чтобы оставить потомство, и в этих поисках бабочки-самцы демонстрируют невероятно широкий набор поведенческих реакций: они могут идти по следу, защищать свою территорию от конкурентов и даже объединяться в группы для достижения цели. Как бабочке удастся реализовать столь сложное, на первый взгляд, поведение, используя весьма простые сенсорные и интегративные возможности, до сих пор остается неясным.

Фасеточные глаза бабочек составлены из отдельных шестиугольных линз (фасеток или *омматидиев**) со световодами и сенсорными датчиками, которые направлены в разные стороны и обеспечивают широкий диапазон. Каждый омматидий имеет постоянный угол обзора, составляющий примерно 1,5°, и собирает информацию о разнообразных световых сигналах по своему полю зрения, преобразуя ее в некое изображение, близкое к точечному. Информация со всех фасеток передается в мозговые центры, где и суммируется.

Хорошей аналогией такого зрительного восприятия служит грубо оцифрованный видеоролик, снятый с помощью мутноватого объектива типа «рыбий глаз» – своего рода панорамное кино из цветного «кружева». Чтобы смоделировать такой взгляд на мир, нужно просто посмотреть на шестиугольный массив плотно сгруппированных крошечных отверстий через короткофокусную линзу. Это, конечно, довольно упрощенная модель, однако она позволяет убрать многие мелкие детали, не воспринимаемые бабочками из-за недостаточной разрешающей способности их глаз, и, напротив, выделить наиболее главные, которые для человека могут быть погребены в хаосе подробностей.

* Подробнее о строении фасеточного глаза читайте в этом номере в статье д. б. н. В. В. Глупова, с. 96

Выяснилось, что бабочки гораздо лучше нас воспринимают расположение и геометрию элементов рельефа и предметов в целом, а также мозаику из света, тени и различных цветов. Такое «зрение» не позволяет рассмотреть детали предметов на большом расстоянии, но предметы, расположенные на разном удалении, воспринимаются совершенно по-разному при их перемещении или повороте глаза.

Так с помощью простого оптического устройства удалось найти ключ к разгадке большой тайны. Оказывается, бабочки могут четко определять границы своих местообитаний, а также «окна», через которые они могут попасть на другие подходящие участки. Территориальные виды способны обнаруживать непрошенных гостей по их движениям, даже если изображение чужака попало в поле зрения единственного омматидия. Групповым видам такой тип зрения позволяет точно определить местонахождение пищи или возможного партнера.

Очень интересно применить такое модельное устройство для поиска другой бабочки и проследить, как меняется ее изображение по мере приближения. В качестве модели возьмем перламутровку Кибела (*Speyeria cybele*, Nymphalidae), отличающуюся яркой оранжево-черной раскраской крыльев.

На расстоянии около 2 м бабочка воспринимается как едва видимый предмет, практически на грани видимости. Это расстояние близко к максимальному, на котором летящая перламутровка изменит курс, устремившись по направлению к другой особи.

При приближении к бабочке на расстояние в диапазоне 25–6 см мы встречаемся с удивительным явлением: если «глаз» или бабочка будет передвигаться с небольшой скоростью, то значительная часть поля зрения «вспыхивает» то оранжевым, то черным цветом. И именно на таких расстояниях у этого вида потенциальные партнеры начинают брачные ухаживания. В этом случае фасеточный глаз работает как специальный фильтр для восприятия упорядоченного узора пятен на крыльях бабочки, давая в результате высокоселективный видоспецифичный сигнал.

Г. С. Хорн (почетный профессор экологии и эволюционной биологии Принстонского университета, США)



Восьмая казнь египетская

Подул сильный ветер, а за ветром налетели на Египет полчища саранчи, сожрав всю зелень вплоть до последней травинки на земле египетской.

Исход 10, 13–15

Кто не слышал о перелетной саранче? Согласно ветхозаветной легенде, нашествие этих прожорливых насекомых стало одним из наказаний, обрушившихся на египетского фараона за отказ освободить израильский народ. Действительно, взрослые особи и личинки этих растительноядных насекомых могут наносить серьезный вред сельскохозяйственным растениям: они грубо объедают листья и стебли злаков, что нередко приводит к гибели растений.

Одна особь саранчи способна съесть от 200 до 500 г зеленых растений. Интересно, что такая большая прожорливость этих насекомых связана главным образом не с утолением голода, а с необходимостью поддержания водного баланса.

За год у саранчи развивается одно поколение. Самка откладывает яйца в верхние слои почвы, раздвигая ее короткими пальчатыми створками яйцеклада. Одновременно с откладкой яиц она выделяет пеннистую, быстро твердеющую на воздухе жидкость, которая цементирует частички почвы. В результате образуется капсула («кубышка» с крышечкой из тех же выделений), внутри которой находятся яйца. «Кубышки» зимуют в почве на глубине 5–6 см, а весной из них выводятся личинки, которые начинают активно питаться свежей зеленью, через 30–50 дней превращаясь во взрослых крылатых насекомых.

По образу жизни и поведению выделяют две формы перелетной саранчи: *одиночную* и *стадную*, которые хорошо различаются как по внешнему виду, так и по поведению. Стадная форма образует плотные скопления личинок (*кулиги*) и взрослых особей (*стаи*), которые живут, питаются и передвигаются совместно. Особи именно этой формы наиболее активны и прожорливы: на своем пути они поедают буквально все «живое».

Серьезный вред перелетная саранча наносит главным образом в периоды всплеск ее численности. К основным причинам таких всплесков, наряду с погодными условиями и естественной популяционной цикличностью, относят изменение природопользования в степных регионах. В частности, благоприятные условия для массового размножения этих насекомых формируются вследствие появления больших площадей *залежей* (брошенной пашни).

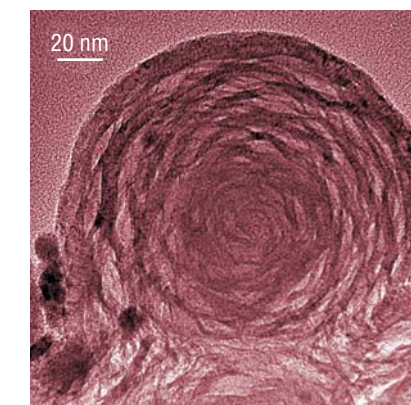
К. б. н. Т. А. Новгородова (Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск)



На фото – взрослая особь одиночной формы саранчи перелетной, или азиатской (Locusta migratoria L.), занятая откладкой яиц. Новосибирская обл., Карасукский р-н, окрестности с. Троицкое. Фото автора

© Т. А. Новгородова, 2013

В сердце нанорозы



Современные нанотехнологии позволяют создавать материалы, принципиально отличающиеся по своим электрическим, оптическим или механическим характеристикам от аналогичных продуктов, произведенных по традиционным технологиям. Одна из основных задач в области нанотехнологий – создание и развитие методов формирования наночастиц с заданной структурой, формой и размером, свойства которых можно прогнозировать.

Для синтеза углеродных наноматериалов сегодня широко используют метод лазерного облучения исходных углеродсодержащих веществ. Так, первые образцы фуллеренов – молекул, в которых атомы углерода составляют симметричные многогранники, были получены при испарении графита в процессе лазерного облучения более четверти века назад (Kroto H W., et al. 1985).

При лазерном облучении происходят процессы быстрого нагрева первичных частиц до температуры, характерной для парообразования и частичного испарения углеродного материала, а затем следует фаза быстрого охлаждения, сопровождающаяся кристаллизацией углерода в графитоподобные наноструктуры.

У этого метода много достоинств. Во-первых, лазерный луч непосредственно передает энергию в облучаемый материал, что обеспечивает химическую чистоту получаемых продуктов. Во-вторых, эту энергию можно менять в широком диапазоне, что позволяет контролировать тепловое воздействие на облучаемый материал.

Сотрудники Института проблем переработки углеводородов СО РАН (Омск) совместно с физиками Омского государственного университета им. Ф. М. Достоевского исследовали воздействие импульсного наносекундного лазерного облучения на глобулы технического углерода.

Оказалось, что таким способом можно получать сферические углеродные частицы диаметром 100–500 нм, состоящие из рядов параллельных, пространственно протяженных графеновых слоев (графен – углеродный материал с двумерной кристаллической решеткой «толщиной» в 1 атом). Слои представляют собой углеродные оболочки, вложенные одна в другую и разделенные между собой незаполненным пространством: на электронно-микроскопических снимках эти частицы похожи на срез бутона розы.

Эксперименты показали, что на упорядоченность структуры графеновых слоев при кристаллизации, от которой зависят физико-химические свойства будущих наночастиц, влияет мощность лазерного облучения.

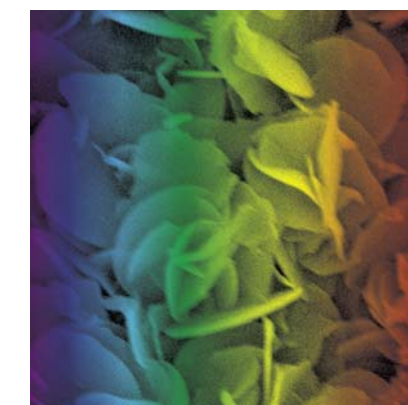
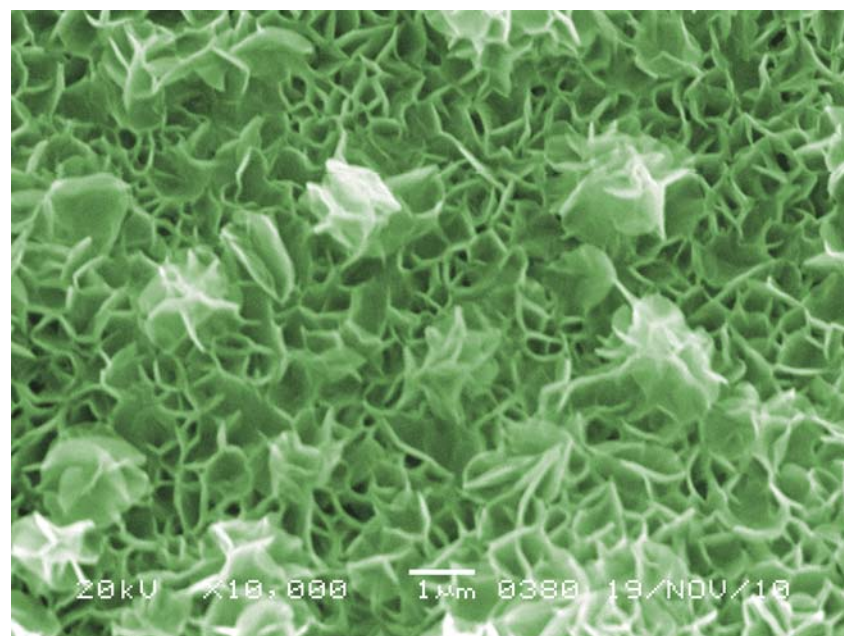
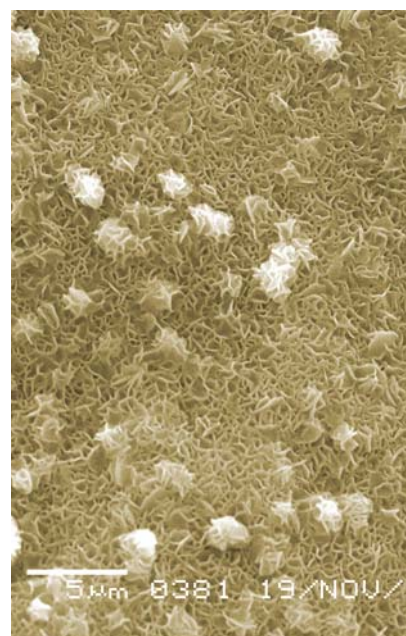
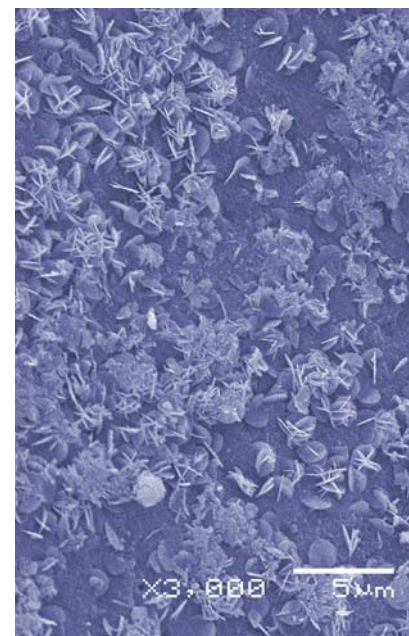
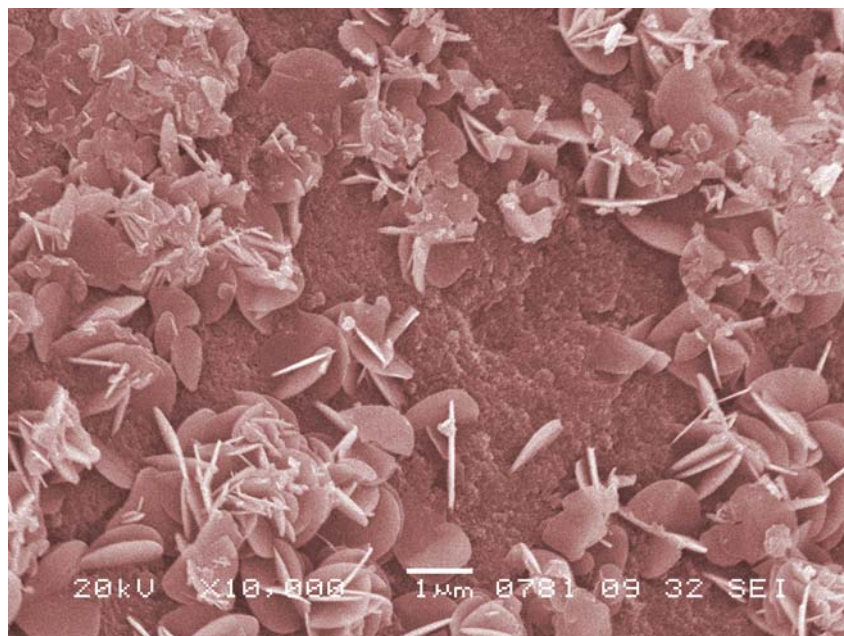
Синтез и исследование характеристик таких «розовидных» наночастиц продолжается. Предположительно, их можно будет использовать в качестве составной части материалов, применяемых в топливных элементах и суперконденсаторах нового поколения.

К.х.н. М.В. Тренихин, О.В. Протасова, чл.-кор. РАН, В.А. Лихолобов (Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск), к.ф.-м.н. Г.М. Серопян (Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского), д.х.н. Ю.Г. Кряжев, к.х.н. В.А. Дроздов (Омский научный центр СО РАН, Омск)

С помощью лазерного облучения глобул технического углерода можно получить углеродные наночастицы с розоподобной структурой.
Просвечивающая электронная микроскопия

© М.В. Тренихин, О.В. Протасова, В.А. Лихолобов, Г.М. Серопян, Ю.Г. Кряжев, В.А. Дроздов, 2013

Носитель для платины



Алкены (олефины), такие как пропилен, являются важнейшим сырьем для современной химической промышленности. Эти углеводороды широко используются при производстве пластмасс, каучуков, моющих средств, компонентов моторных топлив, растворителей и т. д. Сегодня большая часть того же пропилена является побочным продуктом нефтепереработки, однако потребность в подобных соединениях в ближайшее время будет только возрастать, что требует развития технологий их промышленного производства.

Один из промышленных методов производства алкенов – дегидрирование алканов (насыщенных углеводородов линейной или разветвленной структуры) в присутствии катализаторов – широко используется уже на протяжении нескольких десятилетий. Прекрасным катализатором реакции дегидрирования алканов является платина, нанесенная на пористый оксид алюминия. Однако такие катализаторы имеют ряд недостатков; в частности, кислотные центры, расположенные на поверхности носителя, инициируют побочные реакции коксообразования, которые ведут к быстрой дезактивации катализатора.

Для решения этой проблемы в оксид алюминия традиционно вводят специальные модифицирующие добавки – катионы щелочных и щелочно-земельных металлов. Сотрудники омского Института проблем переработки углеводородов СО РАН предложили модифицировать кислотно-основные свойства оксида алюминия посредством синтеза на его поверхности слоистого алюмомагниевого гидроксида в геотермальных условиях. Причем алюминий для данной химической реакции берется непосредственно из исходного оксида алюминия.

Алюмомагниевого гидроксида характеризуется выраженными основными свойствами, а также хорошей адсорбционной способностью по отношению к анионным комплексам платины, которые используются при получении катализаторов. В результате «привязка» новой фазы непосредственно к поверхности исходного носителя не только уменьшила его кислотные свойства, но и положительно повлияла на активность нанесенных частиц платины.

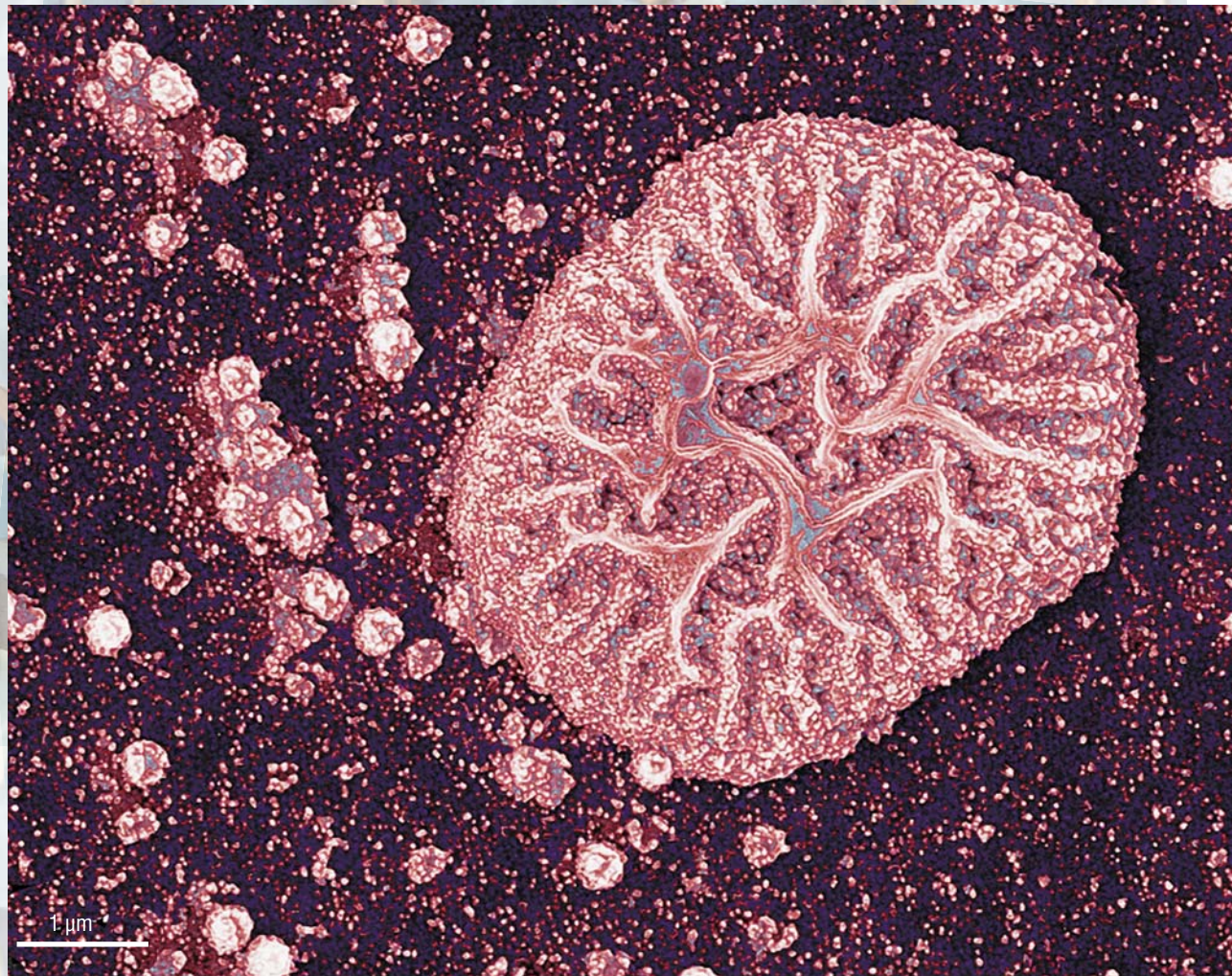
Исследование нового платинового катализатора Pt/MgAlO_x/γ-Al₂O₃ в реакции дегидрирования пропана при 550 °С показало, что по сравнению со стандартным он практически не подвергался дезактивации и увеличивал выход целевого продукта на 10 %.

*К.х.н. О.Б. Бельская, чл.-кор. РАН В.А. Лихолобов
(Институт проблем переработки углеводородов
СО РАН, Омск)*

Алюмомагниевого гидроксида, синтезированный на поверхности оксида алюминия, представляет собой округлые пластины толщиной 10—20 нм и шириной 50—100 нм. Меняя условия синтеза, можно регулировать интенсивность его образования, варьируя таким образом степень модифицирования носителя катализатора.
Электронная микроскопия.
Фото А.Н. Саланова
и Е.А. Супруна (ИК СО РАН,
Новосибирск)

© О.Б. Бельская,
В.А. Лихолобов, 2013

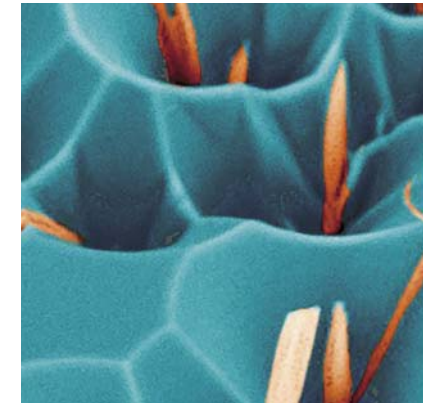
Галерея наноарта



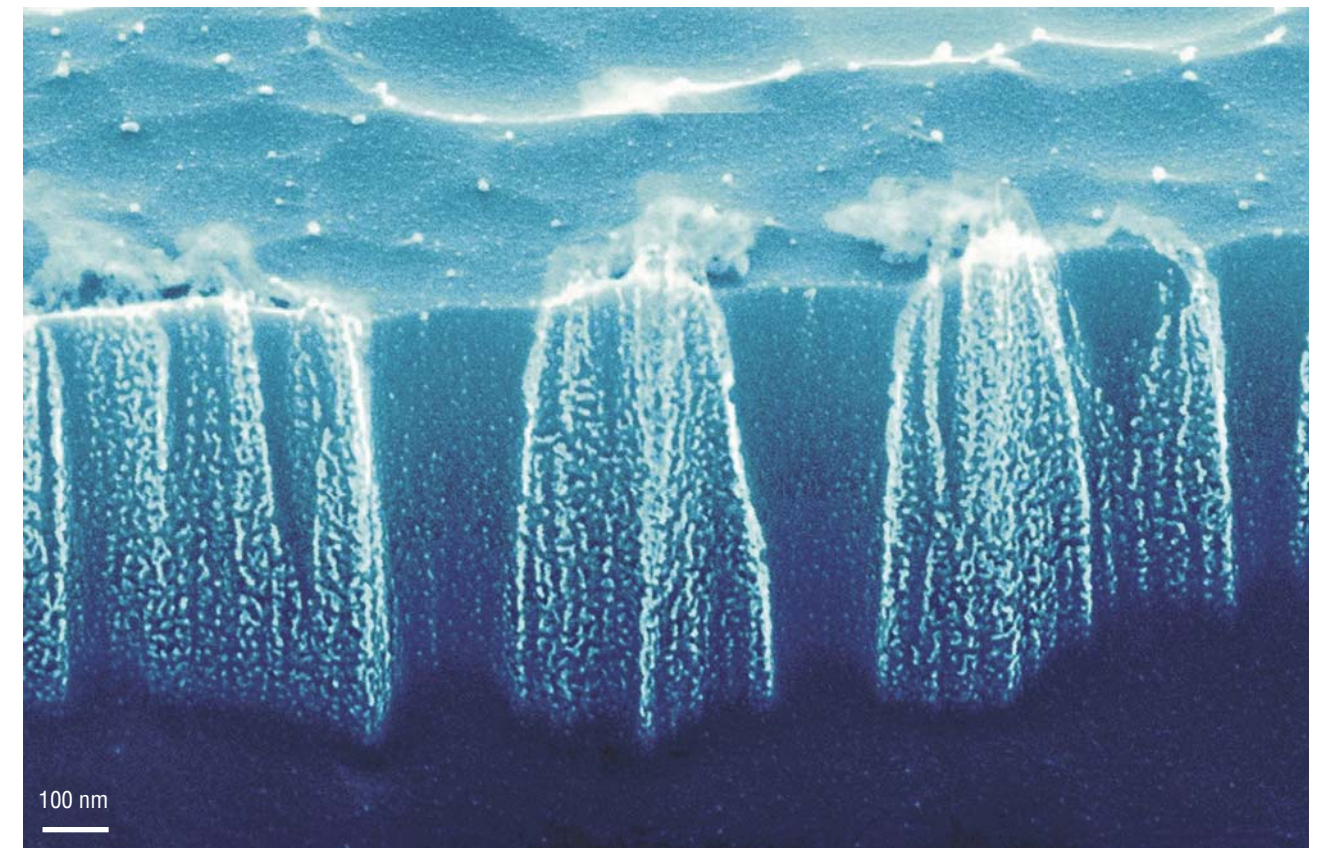
«Галактический разум» — полупроводниковая пленка PbSe после плазменной обработки

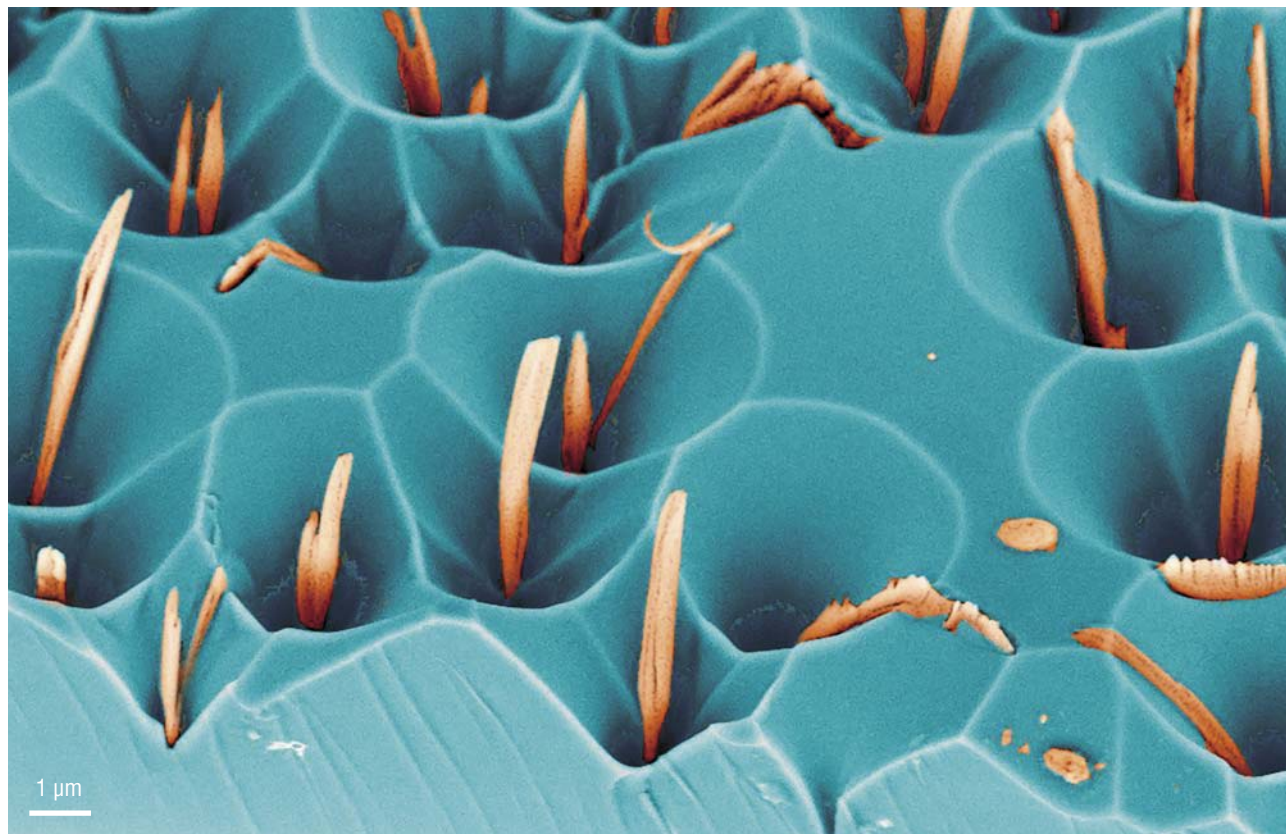
© ЦКП «ДМНС» ЯргУ, 2013

Центр коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика микро- и наноструктур» – интегрированное научное подразделение Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова и Ярославского филиала Физико-технологического института РАН (nano.yar.ru), располагающее широким спектром высокоточного аналитического и диагностического оборудования. Особое место занимают микроскопы – туннельные, растровые, просвечивающие, среди которых нужно отметить многофункциональный растровый электронный микроскоп «Supra 40» (с разрешением 1 нм и системой микроанализа), на котором можно исследовать множество разнообразных нанообъектов, от биологических структур до новых материалов химической промышленности.



«Нано-Ниагара» – кварц при травлении на загрязненной поверхности





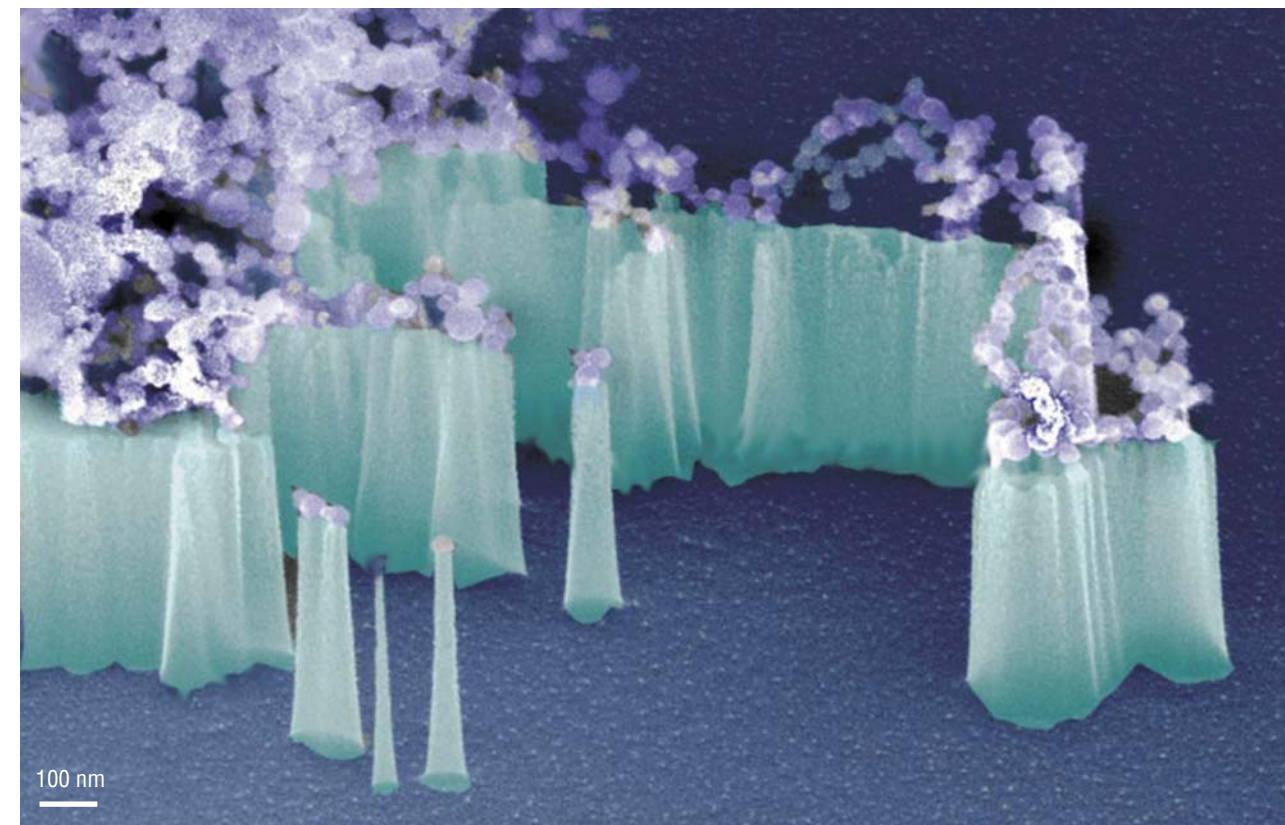
«Подснежники» – диоксид кремния (кварц) при анизотропном травлении во фторсодержащей плазме

Помимо проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области микро- и нанoeлектроники, а также диагностики микро- и наноструктур электроники, наноматериалов и биоорганических объектов, центр оказывает ряд образовательных услуг, в том числе материально-техническую поддержку основной образовательной программы ЯрГУ «Электроника и нанoeлектроника».

В университете считают, что развитие творческих способностей студентов – залог их будущей успешной научной деятельности, поэтому в центре горячо поддерживают студенческое творчество в сравнительно новой области изобразительного искусства, именуемой «наноартом». Речь идет об изображениях объектов, полученных с помощью электронных и атомно-силовых микроскопов и немного «приукрашенных» с помощью компьютерных технологий.

Так, за последний год в центре на аналитическом электронном микроскопе «Supra 40» было исследовано более 2 тыс. образцов различных материалов и структур. Электронные изображения некоторых из них вошли в «Nanoart Gallery» университета. Многие из этих образцов были получены в результате анизотропного плазмохимического травления.

Процесс плазмохимического травления сегодня широко применяют в микро- и нанотехнологиях. При травлении кремния – основного материала микроэлектроники – для достижения высокой скорости процесса



«Водная феерия» – кремний после нанотравления через титановую маску

и вертикальности стенок канавок разработаны двухстадийные технологии, при которых быстрое травление во фторсодержащей плазме чередуется с пассивацией (покрытием) боковых стенок канавок полимерной пленкой, осаждаемой из фторуглеродной плазмы.

Развитие методов диагностики параметров плазмы и использование современных методов анализа получаемой поверхности (рентгеноэлектронной спектроскопии, электронной микроскопии и спектроскопии вторичных ионов) позволили существенно продвинуться в понимании механизмов травления материалов. Так, скорость травления в плазме для разных материалов определяется потоком заряженных частиц, бомбардирующих их поверхность. Травление диоксида кремния ведут содержащимися в плазме атомами фтора и фторсодержащими радикалами. Моноксид кремния и кристаллический кварц следует, преимущественно, травить путем ионной бомбардировки, при больших потоках и энергиях падающих ионов.

М.н.с. О.Ю. Златоустова, к.ф.-м.н. В.В. Наумов, к.ф.-м.н. А.Б. Чурилов, д.ф.-м.н. А.С. Рудый (ЦКП научным оборудованием «Диагностика микро- и наноструктур», Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, Ярославский филиал ФТИАН РАН)

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.; № 4(34) – 2010 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), 3(39) – 2011 г.; № 1(43), 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 шести номеров: № 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), 6(42) – 2011 г.; 3(45), 4(46), 5(47) – 2012; № 2(50) – 2013

ЦЕНА 2970 руб.

ПОРЯДОК ПРИОБРЕТЕНИЯ КОМПЛЕКТОВ СМ. НА СТР. 134
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 двенадцати номеров: № 2(5), 3(6) – 2005 г.; № 1(7), 2(8), 4(10) – 2006 г.; № 6(24) – 2008 г.; № 1(25), 5(29), 6(30) – 2009 г.; № 3(33), 5(35) – 2010 г.; № 3(39) – 2011 г.

ЦЕНА 1170 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 шести 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.; № 1(43), 2(44), 3(45), 4(46), 5(47), 6(48) – 2012 г.; № 1(49), 2(50) – 2013 г.

ЦЕНА 3030 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

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.	6 номеров	900 руб.	<input type="checkbox"/>	
Коллекцию журналов по ЛЬГОТНОЙ цене: 44 номера			4 840 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»	24 номера	2 660 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 5 «Коренные народы Сибири»	11 номеров	1 050 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 6 «Человек»	21 номер	2 260 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"/>	№ 6 (48) <input type="checkbox"/>	160	№ 1 (7) <input type="checkbox"/>	№ 2 (8) <input type="checkbox"/>	№ 3 (9) <input type="checkbox"/>	80	
	№ 1 (43) <input type="checkbox"/>	№ 2 (44) <input type="checkbox"/>	№ 3 (45) <input type="checkbox"/>		2006	№ 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"/>	№ 4 (40) <input type="checkbox"/>	160	2005	№ 2 (5) <input type="checkbox"/>	№ 3 (6) <input type="checkbox"/>	60	
	№ 1 (37) <input type="checkbox"/>	№ 2 (38) <input type="checkbox"/>	№ 3 (39) <input type="checkbox"/>		на английском языке			цена одного номера, руб.	
2010	№ 1 (31) <input type="checkbox"/>	№ 2 (32) <input type="checkbox"/>	№ 3 (33) <input type="checkbox"/>	150	2007	№ 1 (13) <input type="checkbox"/>	№ 2 (14) <input type="checkbox"/>	№ 3 (15) <input type="checkbox"/>	90
	№ 4 (34) <input type="checkbox"/>	№ 5 (35) <input type="checkbox"/>	№ 6 (36) <input type="checkbox"/>			№ 4 (16) <input type="checkbox"/>	№ 5 (17) <input type="checkbox"/>	№ 6 (18) <input type="checkbox"/>	
2009	№ 1 (25) <input type="checkbox"/>	№ 2 (26) <input type="checkbox"/>	№ 3 (27) <input type="checkbox"/>	130	2006	№ 1 (6) <input type="checkbox"/>	№ 2 (7) <input type="checkbox"/>	№ 3 (8) <input type="checkbox"/>	80
	№ 4 (28) <input type="checkbox"/>	№ 5 (29) <input type="checkbox"/>	№ 6 (30) <input type="checkbox"/>			№ 4 (9) <input type="checkbox"/>	№ 5 (10) <input type="checkbox"/>	№ 6 (11) <input type="checkbox"/>	№ 7 (12) <input type="checkbox"/>
2008	№ 1 (19) <input type="checkbox"/>	№ 2 (20) <input type="checkbox"/>	№ 3 (21) <input type="checkbox"/>	100	2005	№ 1 (4) <input type="checkbox"/>	№ 2 (5) <input type="checkbox"/>		60
	№ 4 (22) <input type="checkbox"/>	№ 5 (23) <input type="checkbox"/>	№ 6 (24) <input type="checkbox"/>		2004	№ 0 (1) <input type="checkbox"/>	№ 1 (2) <input type="checkbox"/>	№ 2 (3) <input type="checkbox"/>	50
2007	№ 1 (13) <input type="checkbox"/>	№ 2 (14) <input type="checkbox"/>	№ 3 (15) <input type="checkbox"/>	90		№ 4 (16) <input type="checkbox"/>	№ 5 (17) <input type="checkbox"/>	№ 6 (18) <input type="checkbox"/>	
	№ 4 (16) <input type="checkbox"/>	№ 5 (17) <input type="checkbox"/>	№ 6 (18) <input type="checkbox"/>			№ 1 (6) <input type="checkbox"/>	№ 2 (7) <input type="checkbox"/>	№ 3 (8) <input type="checkbox"/>	

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

! 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. 144

● **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

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

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

Вы также можете оформить
подписку на нашем сайте:
www.sciencefirsthand.ru
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

Подписка on-line

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





На границе аргентинского и бразильского национальных парков «Игуасу» находится одноименный водопад, признанный одним из семи природных чудес мира. Символом этого уникального водопада служит носуха, небольшое млекопитающее семейства енотовых. Самая примечательная деталь ее внешности – своеобразный хоботок, образованный длинным носом и верхней губой. Эти очень активные зверьки предпочитают животную пищу (от яиц птиц и насекомых до ящериц), но не отказываются и от фруктов. Носухи легко выживают в неволе и приручаются. Фото В. Глупова (ИСиЭЖ СО РАН, Новосибирск)

