

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

www.scfh.ru

6⁽⁴⁸⁾ ● 2012

Когда НАУКА опережает ФАНТАЗИЮ

ТОМТОР -
КЛАДОВАЯ
«РЕДКОСТЕЙ»

ОТКРЫТИЕ
ЗАРНИЦЫ

ДВИЖЕНИЕ
СИЛОЙ
МЫСЛИ

ГЕНОМНЫЕ
СНАЙПЕРЫ





Ряды похожих на мыльные пузыри радужных капель на стенах нейтринного детектора Дайя-Бей на самом деле являются выходами трубок фотоумножителей. Трубки имеют специально разработанную форму для лучшего усиления и регистрации слабых световых импульсов, возникающих при взаимодействии нейтрино и антинейтрино.
Courtesy of Roy Kaltschmidt, Lawrence Berkeley National Laboratory

на стр. 14

На первой странице обложки:

На картине «Ферма», созданной в 2000 г., американский художник Алексис Рокман отразил свои представления о будущем сельского хозяйства, основанном на продуктах генной инженерии.

Courtesy Alexis Rockman The Farm 2000, 96x120". Oil and Acrylic on Wood Collection JGS Inc, New York

6. 2012
научно-популярный журнал



НАУКА

из первых рук



В НОМЕРЕ:

Заработал первый рентгеновский лазер на свободных электронах – уникальный научный инструмент с «русскими корнями»

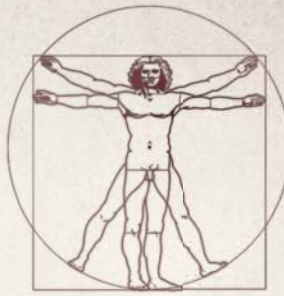
Благодаря развитию нейрокомпьютерных технологий выражение «сила мысли» теперь можно понимать буквально

Разработка якутского месторождения редких элементов Томтор позволила бы обеспечить сырьевую независимость России на сотни лет вперед

Гипотеза о древнем, допалеозойском происхождении экзотических алмазов Сибирской платформы меняет стратегию их поиска

Первую алмазодносную кимберлитовую трубку в Якутии открыла Лариса Попугаева – женщина прекрасной внешности и трагической судьбы

Познавательный журнал
для хороших людей



Редакционная коллегия

главный редактор
акад. Н.Л. Добрецов

заместитель главного редактора
акад. В.В. Власов

заместитель главного редактора
акад. В.Ф. Шабанов

ответственный секретарь
Л.М. Панфилова

акад. М.А. Грачев

акад. А.П. Деревянко

чл.-кор. А.В. Латышев

акад. Н.П. Похиленко

акад. М.И. Эпов

к. ф.-м. н. Н.Г. Никулин

Редакционный совет

акад. Л.И. Афтанас

чл.-кор. Б.В. Базаров

чл.-кор. Е.Г. Бережко

акад. В.В. Болдырев

акад. А.Г. Дегерменджи

д.м.н. М.И. Душкин

проф. Э. Краузе (Германия)

акад. Н.А. Колчанов

акад. А.Э. Конторович

акад. Э.П. Кругляков

акад. М.И. Кузьмин

акад. Г.Н. Кулипанов

д. ф.-м. н. С.С. Кутателадзе

проф. Я. Липковски (Польша)

акад. Н.З. Ляхов

акад. Б.Г. Михайленко

акад. В.И. Молодин

д.б.н. М.П. Мошкин

чл.-кор. С.В. Нетесов

д.х.н. А.К. Петров

проф. В. Сойфер (США)

чл.-кор. А.М. Федотов

д. ф.-м. н. М.В. Фокин

д.т.н. А.М. Харитонов

чл.-кор. А.М. Шалагин

акад. В.К. Шумный

д.и.н. А.Х. Элерт

«Естественное желание хороших
людей – добывать знание»

Леонардо да Винчи

Периодический научно-популярный журнал

Издается с января 2004 года

Периодичность: 6 номеров в год

Учредители:

Сибирское отделение Российской
академии наук (СО РАН)

Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржанова СО РАН

Институт археологии и этнографии
СО РАН

Лимнологический институт СО РАН

Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН

Институт химической биологии
и фундаментальной медицины СО РАН

Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

ООО «ИНФОЛИО»

Издатель: ООО «ИНФОЛИО»

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

www.ScienceFirstHand.ru

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

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

ISSN 1810-3960

Тираж 2000 экз.

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

Дата выхода в свет 25.03.2013

Свободная цена

Перепечатка материалов только
с письменного разрешения редакции

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

Над номером работали

к. х. н. Л. Беляева
И. Гайнутдинов
С. Коротаев
А. Владимиров
к. б. н. Л. Овчинникова
Л. Панфилова
к. б. н. М. Перепечаева
А. Харкевич

Дорогие друзья!

В новом выпуске журнала мы уже традиционно обращаемся к некоторым наиболее значимым мировым научным достижениям 2012 г., которые вошли в ТОП-10 журнала «Science». Комментарии известных ученых к этим прорывам помогут читателю оценить их значение и перспективы для мировой и отечественной науки.

В первую очередь речь идет об обнаружении кванта поля Хиггса – новой элементарной частицы, необходимой для завершения построения так называемой Стандартной модели, описывающей процессы в микромире. Это открытие, возможно, было последним в «пределах досягаемости» современных физических инструментов: дальнейшее увеличение размера и стоимости установок, подобных Большому адронному коллайдеру, сегодня вряд ли возможно. Однако не исключено, что если обнаруженные при распадах новой частицы значительные отклонения от четких предсказаний Стандартной модели подтвердятся, ученым удастся заглянуть за край современных представлений физики элементарных частиц.

В отличие от этого нашумевшего открытия, о масштабном эксперименте в Дайя Бей (КНР) по превращению друг в друга трех типов нейтрино до недавнего времени знали лишь специалисты. Однако эти результаты поистине мирового уровня позволили расширить наше понимание Стандартной модели. Уместно напомнить, что российские физики в составе международной коллаборации принимали непосредственное участие как в создании Большого адронного коллайдера и открытии бозона Хиггса, так и в создании уникальных 80-тонных детекторов электронных антинейтрино в Дайя Бей.

В 2012 г. первую «продукцию» – структуру одного из белков возбудителя сонной болезни – выдал рентгеновский лазер на свободных электронах (LCLS). Яркость излучения этой уникальной установки позволяет исследовать кристаллы в сотни раз меньшего, чем обычно, размера. Хотя этот лазер впервые заработал в Национальной ускорительной лаборатории SLAC (США), сама идея нового метода была выдвинута учеными Института ядерной физики СО АН СССР (Новосибирск) еще в 1980 г., а более десяти бывших его сотрудников приняли непосредственное участие в создании и запуске LCLS.

В настоящее время в ИЯФе работает самый мощный в мире терагерцовый лазер на свободных электронах, созданный на средства, заработанные самим институтом. Однако, по словам заместителя директора института академика Г.Н. Кулипанова, если мы хотим оставаться в русле развития мировой науки, необходимо на государственном уровне запланировать создание отечественного источника рентгеновского синхротронного излучения нового поколения.



Еще одним важным научным прорывом прошедшего года стали успехи в решении уникальной задачи подключения к мозгу внешних электронно-механических исполнительных устройств: интерфейс мозг–компьютер позволил парализованной пациентке управлять движениями искусственной руки. Мозг человека впервые был поставлен в совершенно уникальную ситуацию прямого подключения к внешнему миру, которым он может управлять буквально «силой мысли».

В фокус этого выпуска попали также фундаментальные и научно-прикладные исследования, связанные с оценкой и разработкой огромных запасов минеральных ресурсов северо-востока нашей страны. Представлен новый взгляд на проблему происхождения широко встречающихся в россыпях на северо-востоке Сибирской платформы «экзотических» алмазов, не связанных с кимберлитовыми трубками. Предполагают, что они имеют древнее происхождение, и их коренные источники скрыты под толщей более поздних осадочных пород, поэтому поиск алмазов следует вести, руководствуясь картой тектонических разломов. С 2010 г. в рамках проекта с Федеральным агентством по недропользованию ведутся активные полевые исследования рудоносных осадочных горизонтов севера Якутской алмазоносной провинции.

Но Якутия богата не только алмазами: еще во второй половине прошлого века там, в 250 км к югу от побережья Северного Ледовитого океана, было открыто крупнейшее в мире редкоземельное месторождение Томтор. Комплексное использование уникальных руд Томтора позволило бы на сотни лет вперед удовлетворить потребности нашей страны в редких металлах, которые сегодня мы в основном импортируем, и стало бы весомым вкладом в реализацию масштабной программы развития электронной и радиоэлектронной промышленности, недавно утвержденной российским правительством.

Академик Н.Л. Добрецов,
главный редактор



Дальнейшее **УВЕЛИЧЕНИЕ** размера и **СТОИМОСТИ МЕГАУСТАНОВОК**, подобных Большому адронному коллайдеру сегодня не представляется возможным. **С. 7**

Благодаря новому **МЕТОДУ** обработки **ИСКОПАЕМОЙ ДНК** геном древнего денисовского человека был расшифрован с большей точностью, чем первый геном современного человека. **С. 22**



.01

НОВОСТИ НАУКИ

- 7 **В. Д. Шильцев**
Бозон Хиггса – последний аккорд физики элементарных частиц?
- 14 Китайский ключ к разгадке антиматерии
- 15 Русские корни рентгеновского лазера
- 16 **Г. Н. Кулипанов**
От субмиллиметрового – к рентгеновскому
- 17 **Д. О. Жарков**
В помощь структурному биологу
- 20 Геномные снайперы
- 22 Древняя ДНК:
от неандертальца до колбасы
- 26 **А. Я. Каплан**
Нейрокомпьютерный симбиоз:
движение силой мысли

.02

ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

- 40 **В. П. Афанасьев**
Окатанные временем...
*О происхождении алмазов
Сибирской платформы*

.03

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЭКСПЕДИЦИЙ

- 56 **Е. И. Николенко**
В поисках Триаса. Фоторепортаж

В большой и плотной популяции людей **ИНФЕКЦИЯ** может **ЦИРКУЛИРОВАТЬ** неограниченное время благодаря рождению новых поколений, **ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ** к патогену. **С. 96**

Согласно древнекитайским представлениям, присутствие **ЗЕРЕН ПРОСА** в захоронении, должно было способствовать **ВОЗРОЖДЕНИЮ УМЕРШЕГО**. **С. 110**



.04

ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

- 68 **А. В. Толстов**
Томтор – кладовая «редкостей»

.05

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЙ

- 80 **Э. Н. Эрлих**
Дорога к Томтору.
История открытия месторождения
- 88 Открытие Зарницы –
начало сибирских алмазов

.06

ЧЕЛОВЕК

- 96 **С. Н. Щелкунов**
Оспа – дамклов меч цивилизаций

.07

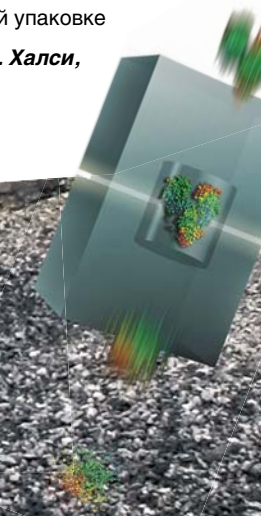
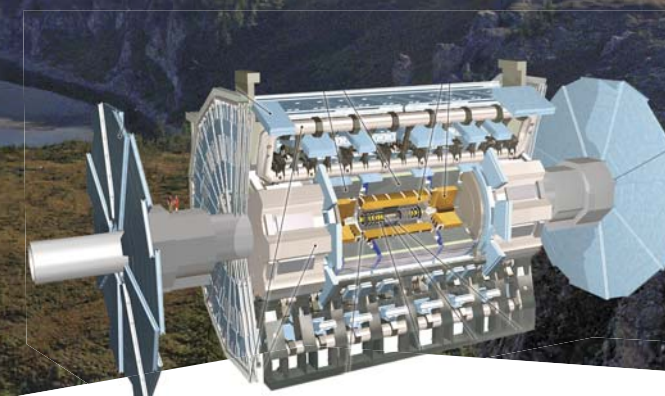
ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

- 110 **Е. А. Королюк, Н. В. Полосьмак**
И душа возродится, как зерна проса

.08

НАУКА В КАРТИНКАХ

- Мир глазами науки**
- 124 **Ю. Лу, М. Х. Шонфиш**
Бинты нового поколения
- 126 **М. Нагиб, Б. Анасори, М. В. Барсум, Ю. Гогоци**
Утес двумерного мира
- 128 **М. О. Галлямов**
Наноцветы в тефлоновой упаковке
- 130 **Д. Дин, Д. Дежарден, М. Халси, К. Харфманн**
Внутри иглы дикобраза



ПОПАСТЬ

В ДЕСЯТКУ

Бозон Хиггса – последний аккорд физики элементарных частиц?

Наблюдаемые уже сейчас в отдельных реакциях распадов бозона Хиггса значительные отклонения от четких предсказаний Стандартной модели, возможно, позволят заглянуть за край современного понимания физики фундаментальных частиц

В июле 2012 г. в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) две независимые группы исследователей, ведущие эксперименты на детекторах ATLAS и CMS на Большом адронном коллайдере (БАК), сообщили об обнаружении новой «частицы, похожей на бозон Хиггса». Эта частица играет ключевую роль в современной физике элементарных частиц, ее существование необходимо для непротиворечивого замыкания так называемой Стандартной модели – теории, которая

ШИЛЬЦЕВ Владимир Дмитриевич – директор Центра ускорительной физики лаборатории Fermilab (Accelerator Physics Center), Чикаго, США. Пять лет руководил крупнейшим в мире ускорителем Tevatron (США, 2001–2005). Изобретатель метода «электронных линз» для коллайдеров. Почетный член Американского физического общества. Член Координационного совета Международной ассоциации русскоговорящих ученых RASA (Russian American Scientists Association). Организатор Ломоносовских чтений в Вашингтоне (США, ноябрь 2011 г.). Лауреат Европейской премии по ускорителям EPS-AG (2004). Автор более 200 научных работ

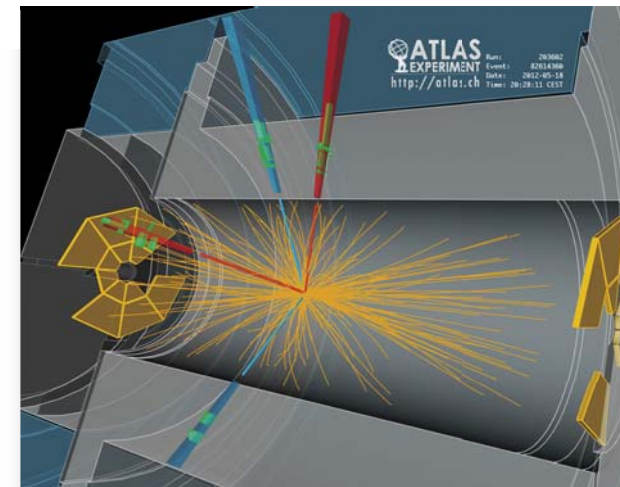
В конце 2012 г. авторитетные научные и информационные журналы по сложившейся традиции подвели итоги года, составив списки наиболее важных научных достижений. Эксперты *Science* – одного из самых известных и старейших изданий – также озвучили десятку наиболее важных научных прорывов прошедшего года. Все они являются яркими примерами того, что наука нашего времени из удела гениальных одиночек во многом превратилась в эффективное производство знаний, в котором участвуют сложное дорогое оборудование, выстроенная инфраструктура и интернациональные исследовательские коллективы.

По нашей просьбе известные ученые прокомментировали некоторые из открытий, вошедших в «горячую десятку» журнала «Science». Выбор как научных результатов, так и авторов комментариев – специалистов в соответствующих областях знания – преследовал цель показать состояние и оценить значение и перспективы открытий для мировой и отечественной науки по самым актуальным направлениям современных исследований.

в настоящее время дает наиболее глубокое и полное описание происходящих в микромире процессов.

Обнаружение новой частицы – кванта поля Хиггса, приводящее к появлению массы у всех частиц, вызвало широкий резонанс не только потому, что стало выходом на одно из фундаментальнейших свойств материи

Распад частицы, предположительно, бозона Хиггса с массой 124,5–124,6 ГэВ на четыре электрона. Событие было зарегистрировано детектором ATLAS 18 мая 2012 г. Треки мюонов и электронных пар изображены красным и синим. © CERN



Одно из событий, в котором предположительно наблюдается распад бозона Хиггса на четыре мюона (красные линии) с высокими энергиями. © 2012 CERN.

Ключевые слова: бозон Хиггса, Большой адронный коллайдер, Стандартная модель
Key words: Higgs boson, Large Hadron Collider, the Standard Model

© В.Д. Шильцев, 2013



и Вселенной, но и благодаря невиданному размаху вложений (около 10 млрд долларов) и огромным усилиям. БАК и детекторы строили, что называется, всем миром*, а в исследованиях принимают участие более 6000 научных сотрудников, из них – более 300 из России. Кроме того, этот проект сопровождало невиданно широкое освещение в средствах массовой информации – подобного внимания удостоилось лишь открытие кварков 40 лет назад.

Что обычно остается «за скобками» в освещении этого исторического события?

Во-первых, то, что этот завершающий аккорд Стандартной модели может привести к тому, что не останется больше открытий в пределах досягаемости современных инструментов – в частности, БАКа. Остается только надеяться, что наблюдаемые уже сейчас в отдельных реакциях распадов обнаруженной частицы значительные отклонения от весьма четких предсказаний Стандартной модели окажутся правдой, и это позволит нам заглянуть за край современного понимания физики фундаментальных частиц и понять, что кроется за неожиданной сложностью самой модели. Эти исследования вполне могут занять еще лет 8–10 работы БАКа.

* Тихонов Ю. А. В поисках начала всех начал // «НАУКА из первых рук». 2012. № 3(45)

Во-вторых, то, как долго физики шли к этому открытию – начиная с пионерных теоретических работ почти 50-летней давности, через попытки экспериментального обнаружения новой частицы на ускорителях LEP в ЦЕРНе в 1990-х годах, и Теватрон в Фермилабе (США) в 2001–2011 гг., где исследователи ясно «увидели» эту же частицу, но со статистической значимостью «всего лишь» 99,7 %, т. н. «3 сигма», что было недостаточно для объявления об открытии, требующем статистической значимости в «5 сигма» или лучше.

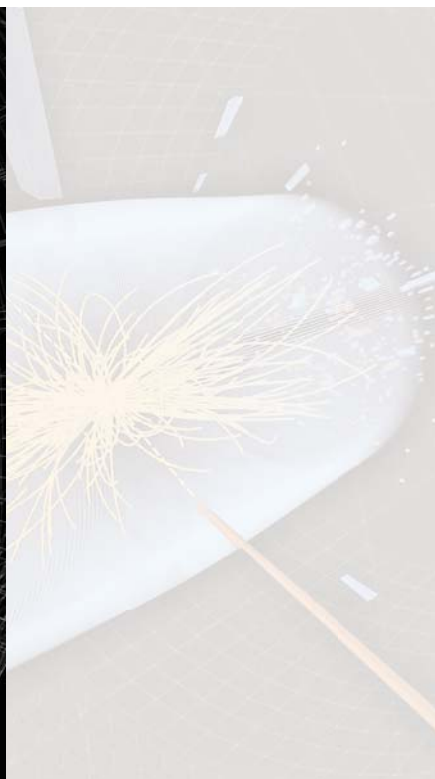
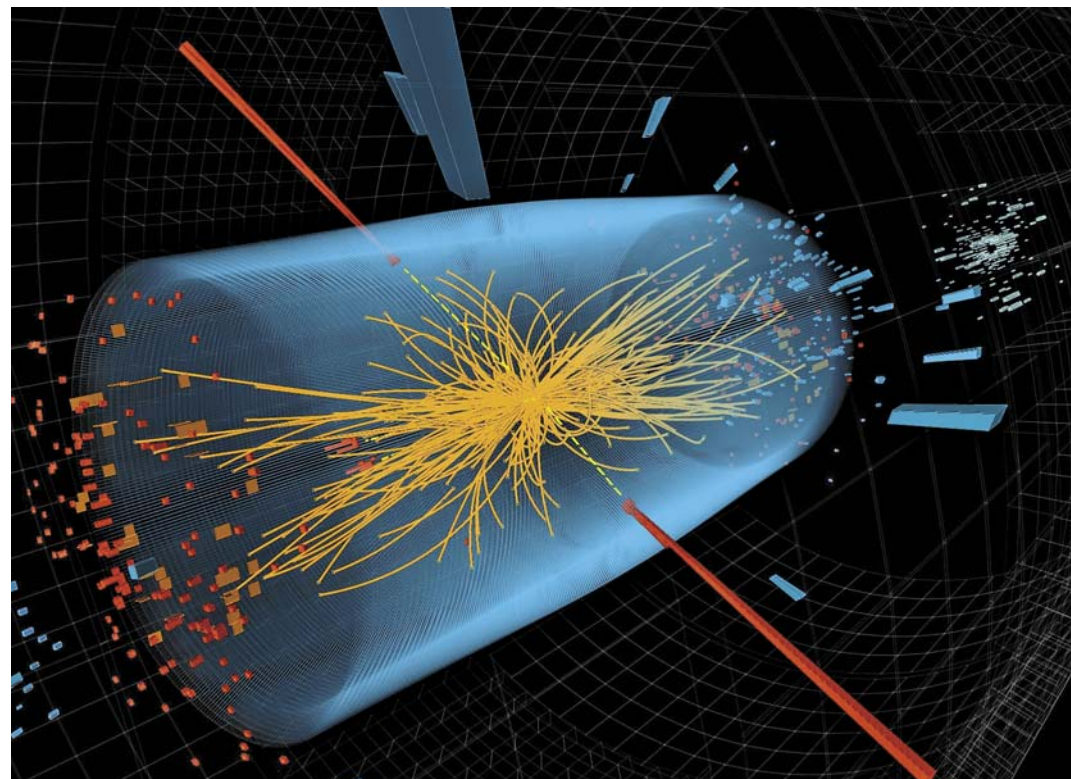
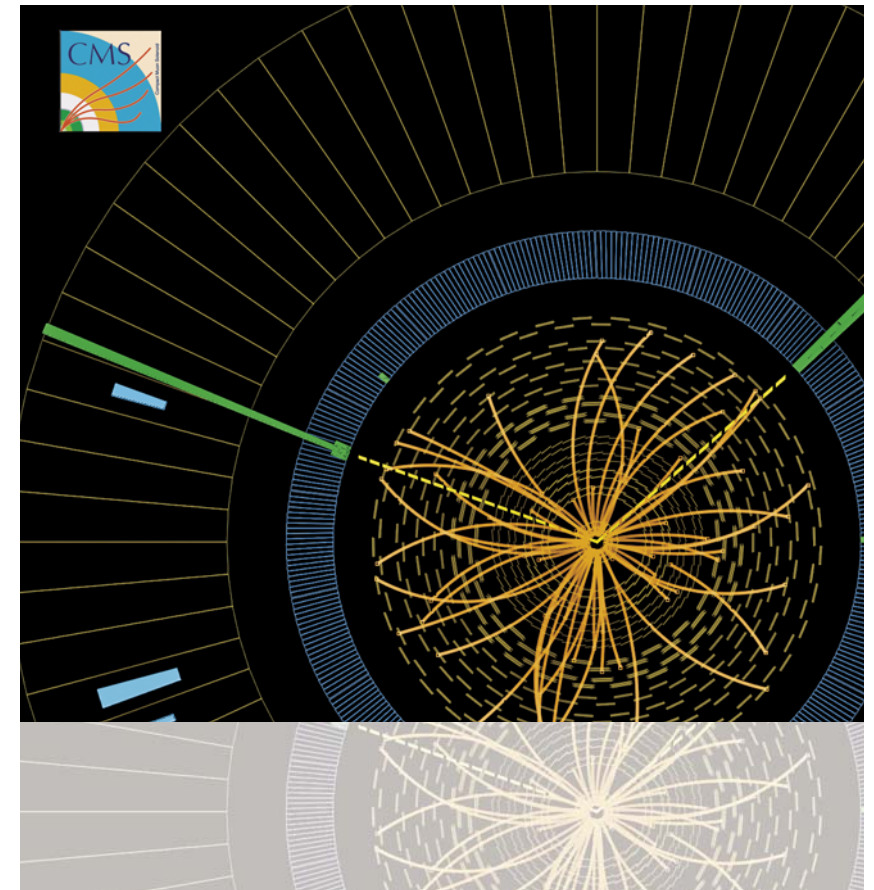
И в-третьих, следует признать, что современная физика фундаментальных взаимодействий и частиц переживает естественный конец периода экстенсивного роста. Если 100 лет назад первые опыты Резерфорда по обнаружению атомного ядра стоили, условно говоря, 1000 долларов, то ускорители, на которых обнаружили кварки – уже десятки миллионов. Строительство и работа Теватрона обошлись в более чем 1 миллиард, а БАК, как упоминалось выше, уже в 10 миллиардов (при этом как минимум треть или даже половину этой

Зарегистрированный детектором CMS распад бозона Хиггса на два фотона с высокими энергиями (красные линии). Желтые линии – треки других частиц, возникших в результате столкновения. Голубой цилиндр изображает кристаллический калориметр детектора CMS.
© 2012 CERN

В список авторов открытия вошли заместитель директора ИЯФ Юрий Тихонов, научные сотрудники Сергей Пелеганчук, Алексей Масленников, Алексей Талышев и Кирилл Сквепень

Траектории частиц, родившихся в результате столкновения двух протонов с суммарной энергией 8 ТэВ, зарегистрированные детектором CMS. Характеристики этого события позволяют предполагать что в нем наблюдается распад бозона Хиггса на два фотона (прерывистые желтые линии, переходящие в зеленые столбики).
© 2012 CERN

Питер Хиггс во время посещения детектора ATLAS.
© 2012 CERN



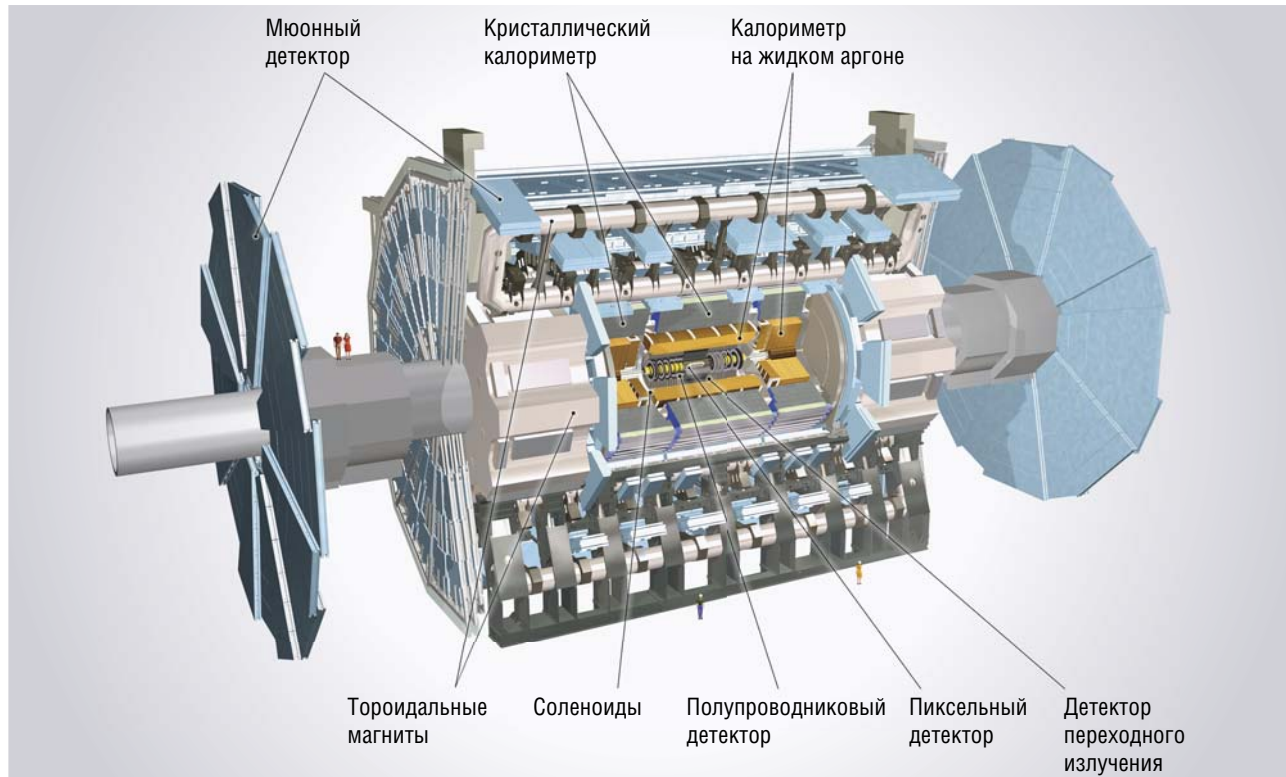
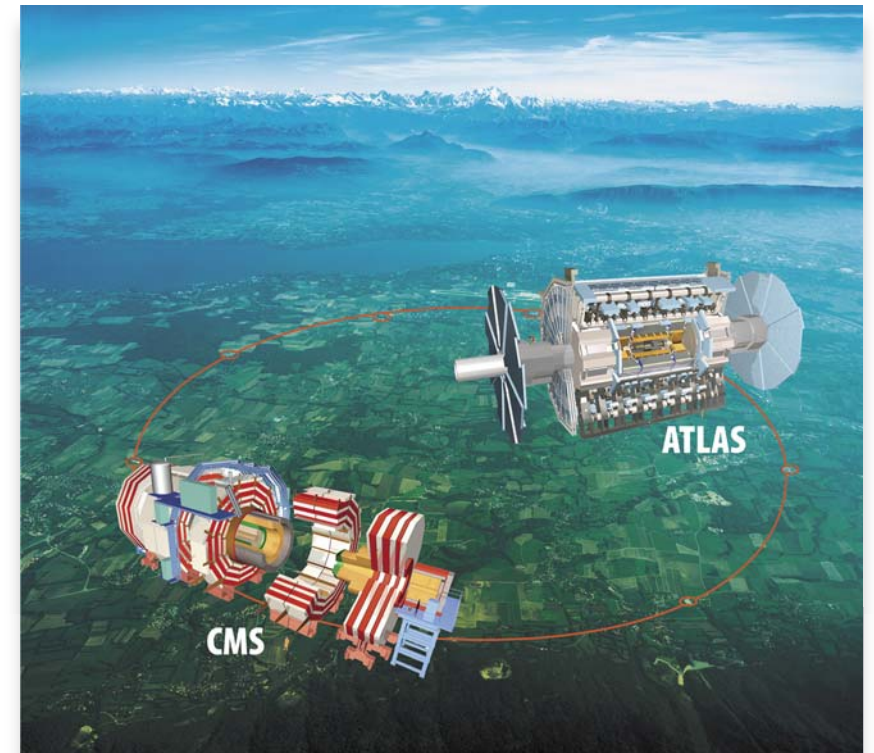


Схема детектора ATLAS – он состоит из нескольких систем обнаружения элементарных частиц и измерения их энергии в которых используются разные физические принципы. © 2012 CERN

Схема расположение детекторов ATLAS и CMS на кольце Большого адронного коллайдера. © CERN

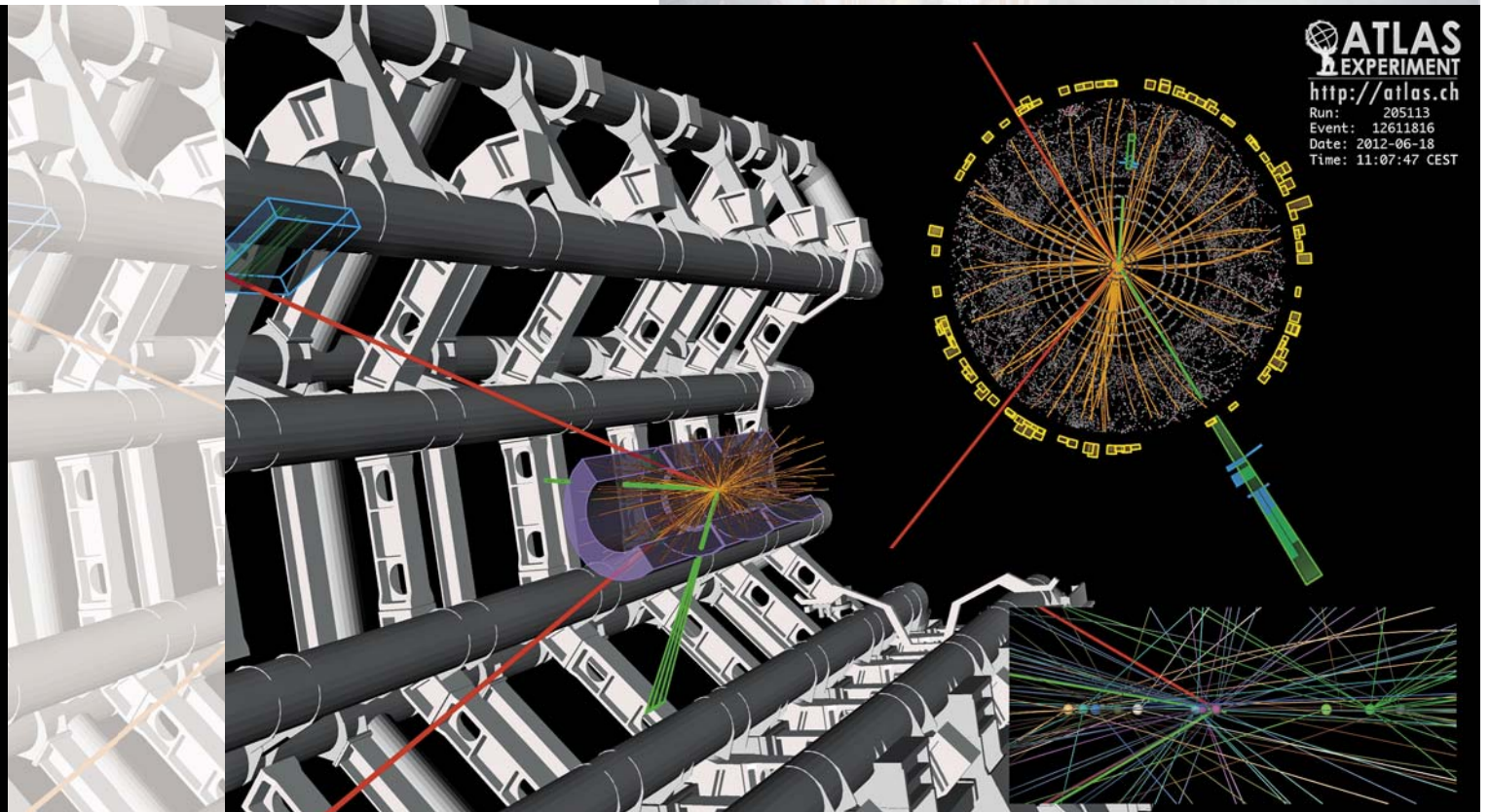
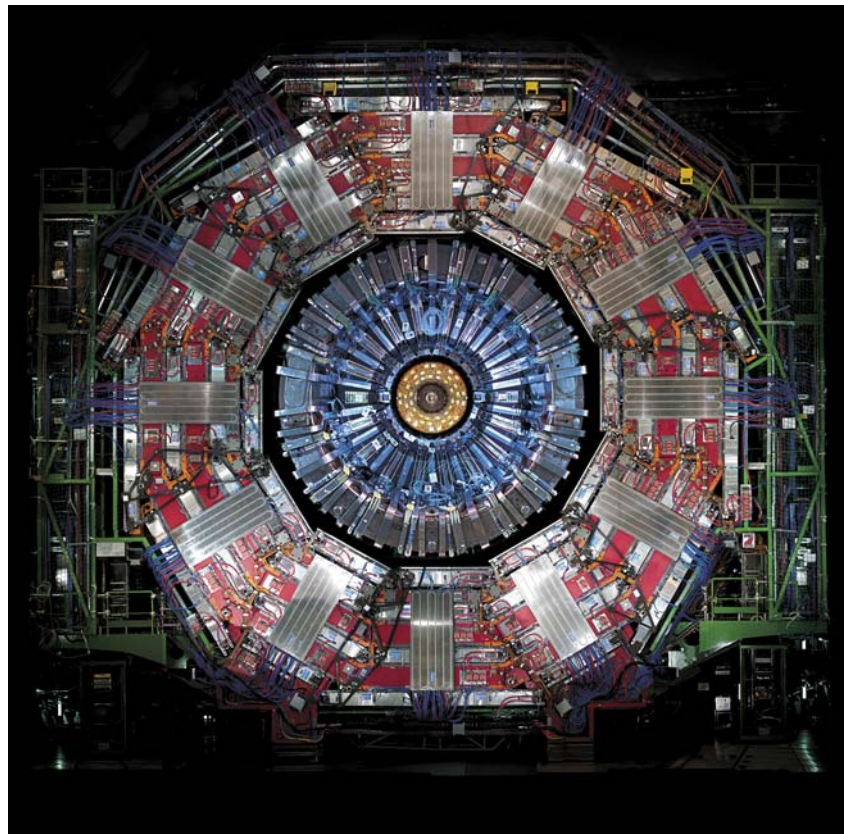
Распад частицы, предположительно бозона Хиггса, с массой 122,6–123,9 ГэВ на два электрона и два мюона. Событие зарегистрировано детектором ATLAS 18 июня 2012 г. Треки мюонов изображены красным, треки электронов – зеленым. © CERN



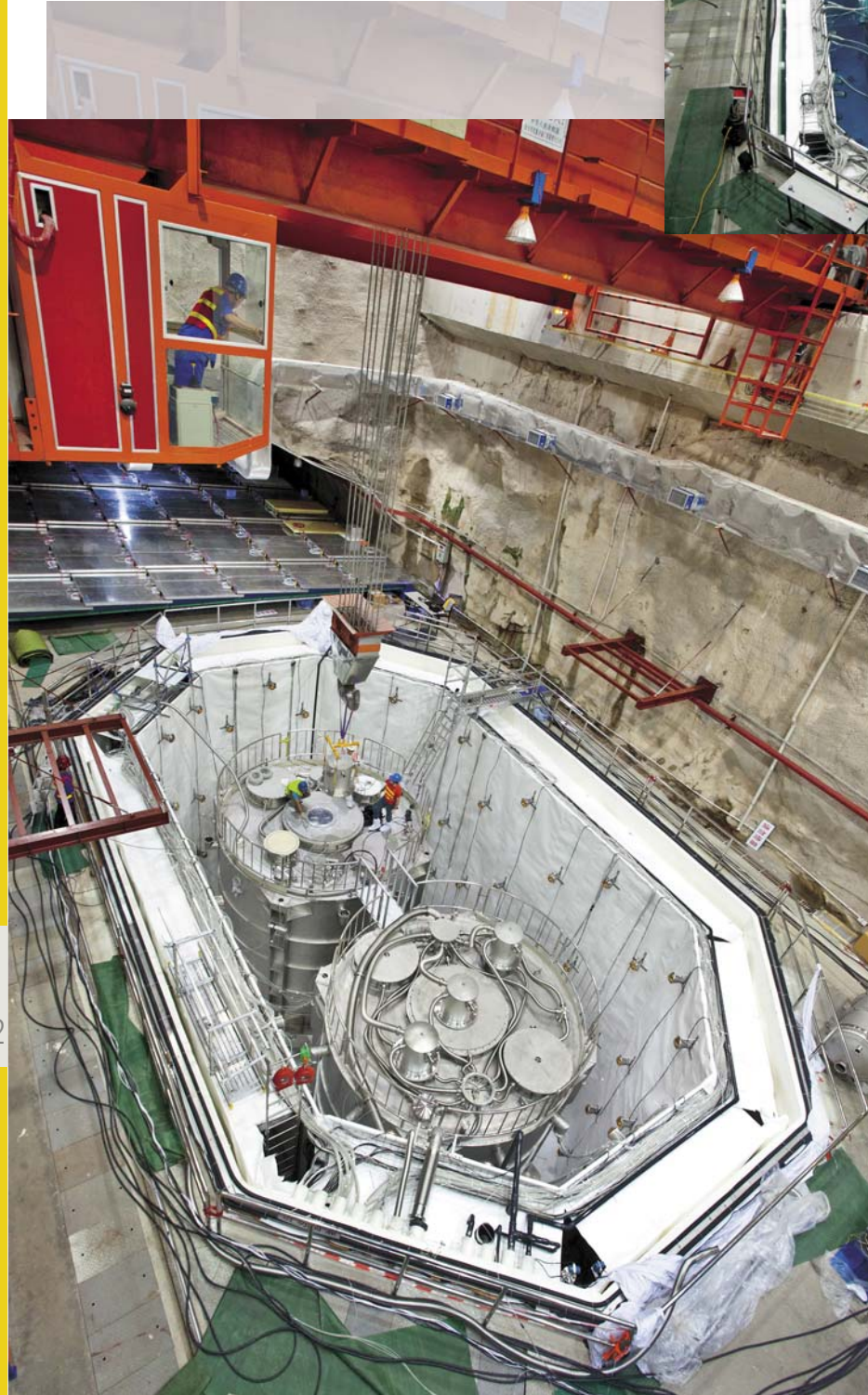
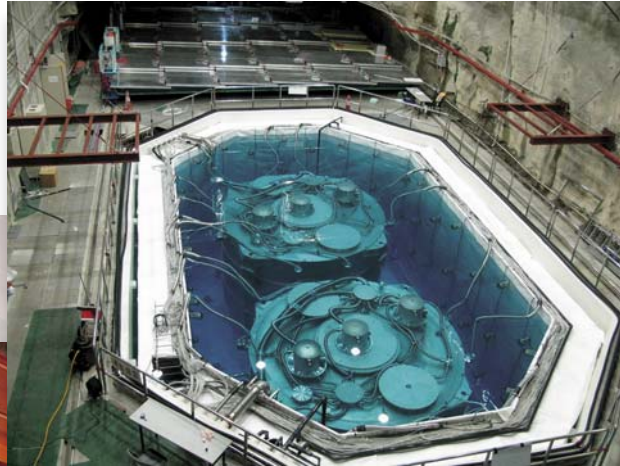
суммы придется потратить в следующие 10 лет работы).

Простое увеличение размера и стоимости физических установок такого типа невозможно из-за финансовых ограничений, что находится в явном противоречии с желаниями физиков иметь доступ к энергиям как минимум в 10–100 раз большим, чем у БАКа. Так что следующие два-три десятилетия вполне могут пройти в поисках либо новых экономичных методов ускорения, либо новых неортодоксальных способов проведения фундаментальных исследований. Ввиду этой неопределенности, вполне понятен заключительный комментарий соответствующей статьи декабрьского выпуска журнала Science – «Будет ли физика частиц когда-либо в состоянии сделать еще одно открытие, сравнимое с бозоном Хиггса?»

Поперечное сечение раскрытого детектора CMS. Видны блоки чувствительных элементов детекторов и магниты



ATLAS EXPERIMENT
<http://atlas.ch>
 Run: 205113
 Event: 12611816
 Date: 2012-06-18
 Time: 11:07:47 CEST



Два детектора антинейтрино в первом зале Дайя-Бей. Впоследствии камера, в которой расположены детекторы, будет заполнена сверхчистой водой.
Courtesy of Roy Kaltschmidt, Lawrence Berkeley National Laboratory

Ключевые слова: осцилляция нейтрино, антиматерия, детекторы нейтрино.
Key words: neutrino oscillation, antimatter, neutrino detector

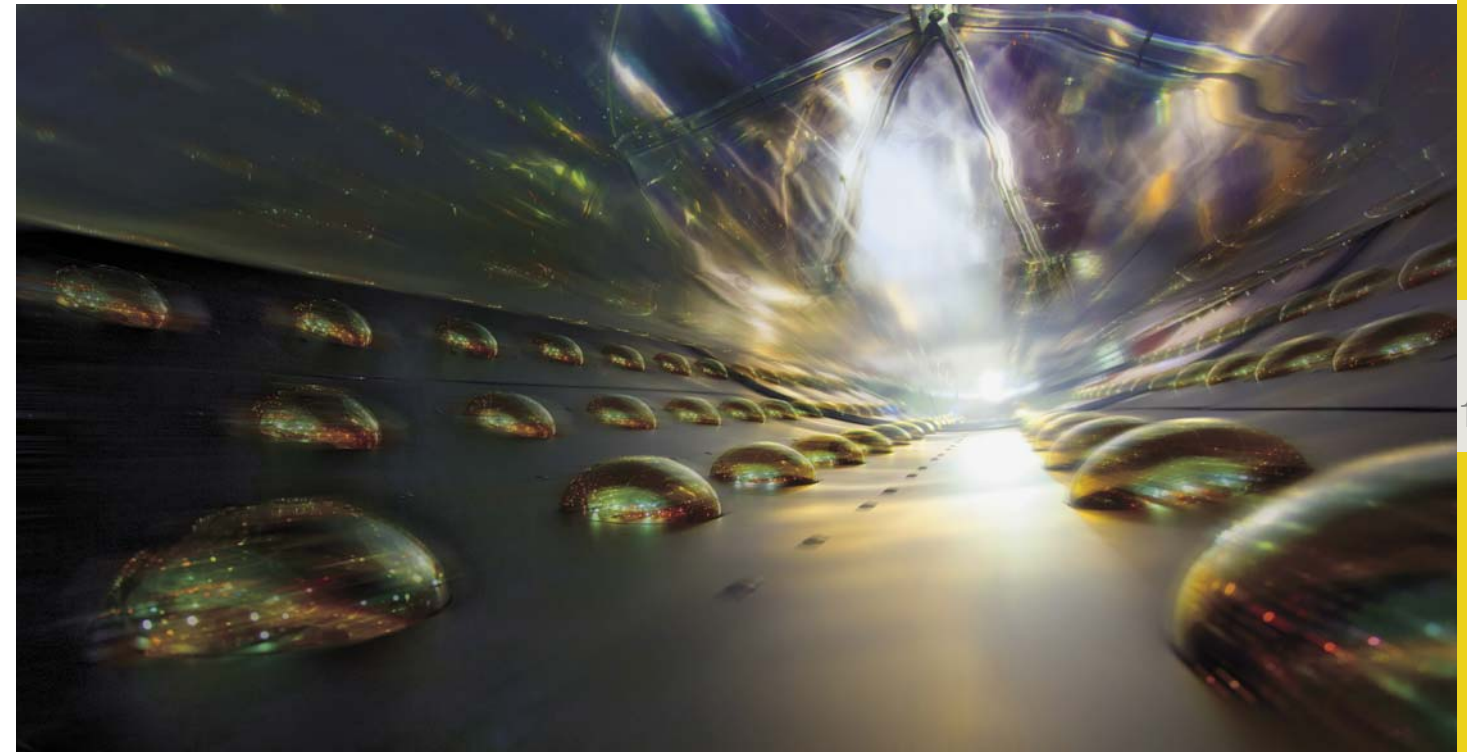
Китайский ключ к разгадке антиматерии

Шесть 80-тонных детекторов электронных антинейтрино и четыре крупнейших в мире атомных реакторов понадобилось, чтобы доказать возможность квантового перехода одного типа нейтрино в другой

Многие слышали о том, что по количеству научных статей – около 400 тыс. в год – Китай уступает лишь США и, похоже, в ближайшие 3–5 лет эта ситуация изменится в пользу Китая. Но мало кто знает, что в 2013 г. во всем мире будут работать только пять коллайдеров (показатель принадлежности к «клубу избранных») – RHIC в США, LHC в Швейцарии, ВЭПП-4М и ВЭПП-2000 в России (г. Новосибирск), и (внимание!) BEPC-II в Китае.

Об эксперименте на реакторе Дайя-Бей (Daya Bay) на юге Китая (в 50 км от Гонконга), в котором измерен последний неизвестный параметр, необходимый для понимания того, как три разных типа нейтрино превращаются друг в друга – знают лишь специалисты в физике элементарных частиц, но результаты этого эксперимента поистине мирового класса, о чем и свидетельствует их попадание в «десятку Science».

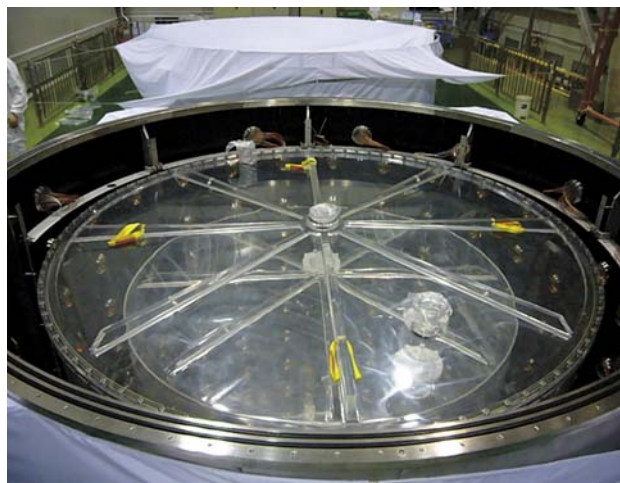
Ряды похожих на мыльные пузыри радужных капель на стенах нейтринного детектора Дайя-Бей на самом деле являются выходами трубок фотоумножителей. Трубки имеют специально разработанную форму для лучшего усиления и регистрации слабых световых импульсов, возникающих при взаимодействии нейтрино и антинейтрино.
Courtesy of Roy Kaltschmidt, Lawrence Berkeley National Laboratory



В эксперименте участвовало шесть 80-тонных детекторов электронных антинейтрино, построенных на расстоянии 360–2000 м от четырех крупнейших в мире атомных реакторов, каждый из которых производит около 3 ГВт электроэнергии и, как сопутствующий продукт ядерных реакций, около 1021 антинейтрино в секунду. Эти детекторы были созданы благодаря коллаборации 280 исследователей из научно-исследовательских учреждений шести стран, в том числе из российского Объединенного института ядерных исследований (Дубна) и Института атомной энергии им. И. В. Курчатова (Москва), а также из 21 научного института Китая.

Детекторы установлены в трехкилометровых тоннелях, прорытых в близлежащих горах. Обработка данных, собранных лишь за первые девять недель работы эксперимента, показала, что в наиболее удаленные детекторы приходит на 7 % меньше антинейтрино, чем ожидалось. Причина этого явления – квантовый переход (осцилляция) одного типа нейтрино в другой. Столь большая величина эффекта указывает на возможную разницу в свойствах вещества и антивещества и может помочь объяснить, почему во Вселенной практически нет антиматерии.

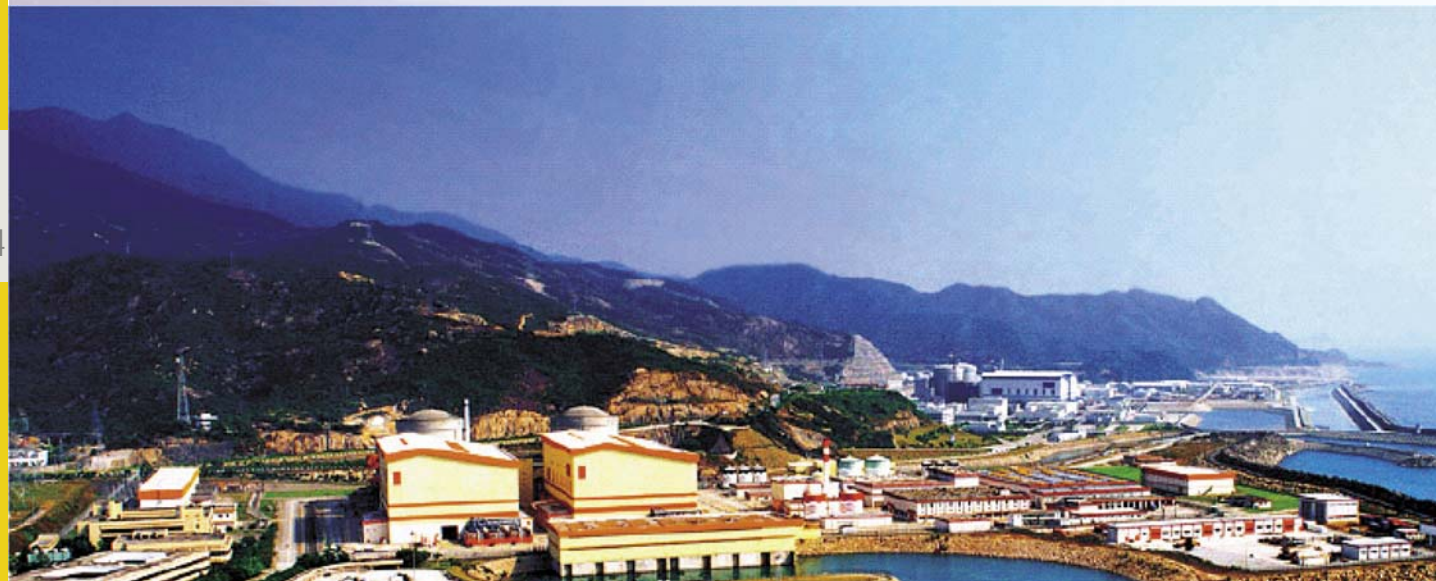
Подобные результаты мирового класса показывают, что наука в КНР давно прошла период становления и в настоящее время выходит на самые передовые рубежи мировой науки.



Детектор антинейтрино в процессе сборки – видны два внутренних цилиндра, а также трубки фотоумножителей вдоль внутренней стенки внешней обшивки.
Credit: Kam-Biu Luk
<http://neutrino.physics.berkeley.edu/news/News-20120307.html>

© В. Д. Шильцев, 2013

Общий вид Дайя-Бей – здесь расположены четыре крупнейших в Китае атомных реактора.
Credit: the Daya-Bay Nuclear Power Plant
<http://www.lbl.gov/LBL-Programs/physics/research/quark/dayabay.html>



Русские корни рентгеновского лазера

В 2012 г. на первом рентгеновском лазере LCLS (Стэнфорд, США) было проведено первое определение структуры белка. Несмотря на всю важность самого белка, имеющего отношение к «африканской сонной болезни», ключевое слово в этом открытии – «первый рентгеновский лазер».

Сам метод определения структуры кристаллов с помощью рентгеновского излучения (фотонов высокой энергии) известен уже более 100 лет. На современных синхротронах определяются структуры почти десяти тысяч белков в год, но рентгеновский «лазер на свободных электронах» (ЛСЭ) – таково его полное название – это действительно новое слово в науке, так как яркость (мощность) излучения в нем превосходит все другие источники в миллиард (!) раз.

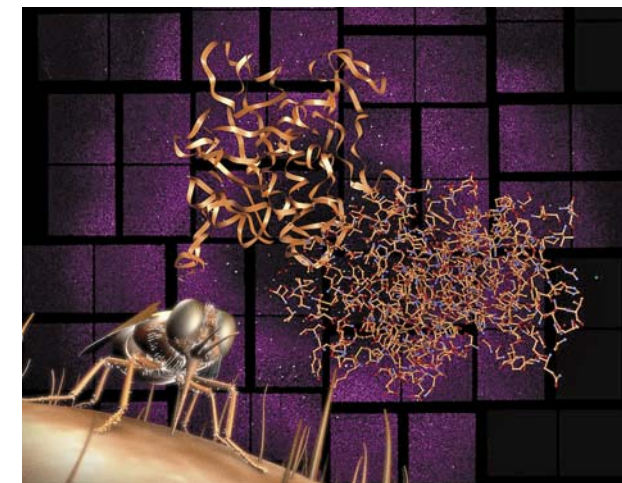
Сложность таких лазеров в том, что рентгеновское излучение невозможно заставить путешествовать много раз туда и обратно, как это происходит в оптическом резонаторе обычных лазеров – зеркал для рентгена не существует. Поэтому требуется очень быстро усилить излучение за один единственный пролет фотонов через активную среду (в данном случае – пучок электронов высокой энергии).

Метод был предложен сотрудниками Института ядерной физики СО АН СССР (Новосибирск) Анатолием Кондратенко и Евгением Салдиным еще в 1980 г. Однако сначала это революционное предложение не нашло никакого отклика в России, а потом грянула «перестройка».

В результате один из создателей метода, д.ф.н. А. М. Кондратенко, занялся прикладными исследованиями: в настоящее время он руководит новосибирским предприятием ГОО «Заряд», а его соавтор Е. Л. Салдин уехал в Германию, где убедил руководство большой национальной лаборатории DESY (Гамбург) построить ускоритель-прототип для экспериментального подтверждения этой идеи. Что и было сделано: в феврале 2000 г. установка заработала!

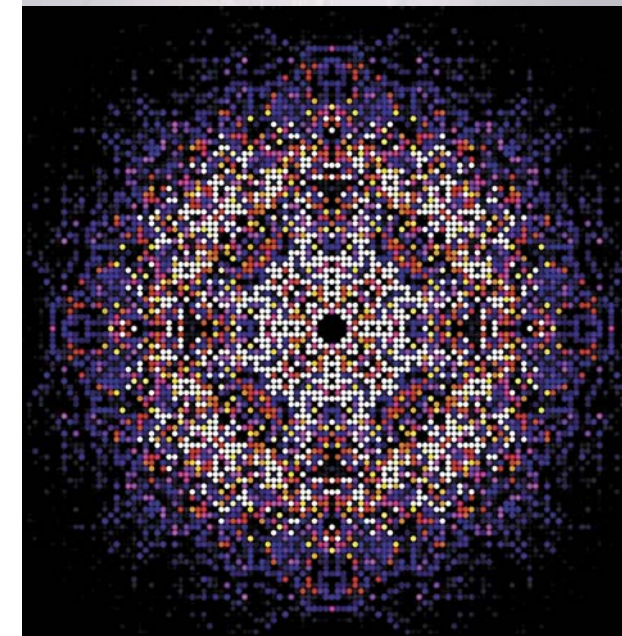
Эффект от этого открытия был колоссальным: два мировых лидера в области ускорителей, лаборатории DESY и SLAC, переключились с физики элементарных частиц на строительство лазера на свободных электронах нового типа. Стэнфорд в результате преуспел первым, и в этом же году заработал второй подобный лазер в Японии. Запуск же самого мощного 6-километрового рентгеновского ЛСЭ в Гамбурге планируется осуществить в 2014 г. Вот такой получился еще один «телевизор Зворыкина»...

© В. Д. Шильцев, 2013



С помощью лазера на свободных электронах была расшифрована структура белка, отвечающего за «африканскую сонную болезнь».
Credit: Greg Stewart / SLAC National Accelerator Laboratory

Данные, полученные с помощью рентгеновского лазера, позволяют восстановить трехмерную структуру белков и других сложных органических молекул. Credit: Karol Nass / CFEL



Ключевые слова: лазер на свободных электронах, расшифровка структуры белков.
Key words: free-electron laser, proteins structure decoding

От субмиллиметрового – к рентгеновскому

Как известно, в ТОП-список журнала «Science» вошли две работы, выполненные на установках mega-science: открытие бозона Хиггса на коллайдере LHC и исследование в области структурной биологии, проведенное с помощью первого в мире рентгеновского лазера на свободных электронах (LCLS). На создание таких мега-установок, от идеи до первых результатов, потребовалось несколько десятков лет и миллиардные финансовые вложения (на создание коллайдера LHC – около 10 млрд долл., LCLS – около 1 млрд долл., без учета стоимости готового линейного ускорителя SLAC).

Приятно отметить, что сама идея такого лазера родилась в Институте ядерной физики СО РАН им. Г.И. Будкера: именно здесь более 30 лет назад А.М. Кондратенко и Е.Л. Салдин предложили метод генерации лазерного рентгеновского излучения.

Экспериментальное подтверждение возможности безрезонаторного рентгеновского ЛСЭ было сделано в начале двухтысячных годов в США (с участием Н.А. Винокурова и бывших сотрудников ИЯФ Э. М. Трахтенберга, И.Б. Вассермана) и в Германии (Е. Салдин, М. Юрков). В создании и запуске LCLS в 2009 г. приняли участие сотрудники пяти государственных лабораторий США, среди которых было более десяти бывших сотрудников ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

Здесь будет уместно упомянуть, что вопрос об использовании в лазерной технике миллиметровых и субмиллиметровых областей спектра электромагнитных волн, не говоря уже о рентгеновской, долгое время оставался открытым. Хотя задолго до изобретения лазеров исследованием перспективного субмиллиметрового диапазона занимались российские ученые, нобелевские лауреаты А. М. Прохоров и В. Л. Гинзбург. В результате еще в конце 1940-х гг. был изобретен ондулятор – устройство, заставляющее электронный пучок «колебаться» определенным образом. Именно ондулятор и стал впоследствии главной частью всех лазеров на свободных электронах (ЛСЭ).

В отличие от обычного лазера, в ЛСЭ источником электромагнитного излучения служит движущийся в ондуляторе пучок электронов, параметры которого можно менять и таким образом «корректировать» длину волны излучения в широких пределах. Еще одно отличие лазера на свободных электронах – его огромные, по сравнению с обычными лазерами, размеры и, соответственно, уже упомянутая выше высокая стоимость.

В ИЯФ СО РАН еще в 1990-х г. под руководством д. ф.-м. н. Н. Винокурова было начато, а в 2000-ых г. успешно закончено строительство ЛСЭ – источника излучения в субмиллиметровом (от 5 до 200 мкм) диапазоне. Этот участок спектра был выбран в то время в основном из экономических соображений: в отличие от рентгеновского ЛСЭ, он обошелся «только» в 30 млн долл. К тому же этот самый мощный в мире терагерцовый ЛСЭ был создан практически без государственной поддержки, на средства, заработанные самим институтом.

Рентгеновский лазер на свободных электронах, как и Большой адронный коллайдер, безусловно, станет в ближайшее десятилетие мощной «фабрикой» многих прекрасных работ и Нобелевских премий. В настоящее вре-



КУЛИПАНОВ Геннадий Николаевич – академик РАН, заместитель директора Института ядерной физики СО РАН, один из организаторов и директор Сибирского центра синхротронного излучения

мя Россия является второй после Германии страной (среди 14-ти участников) по объему инвестиций в строительство рентгеновского лазера на свободных электронах XFEL длиной 3,4 км в крупнейшем синхротронном центре DESY (Гамбург, Германия). Однако если наша страна планирует выйти на передовой уровень в инновационных исследованиях в области физики, химии, материаловедения, биомедицине и других научно-прикладных дисциплин, абсолютно необходимо уже на государственном уровне планировать создание отечественного источника рентгеновского синхротронного излучения четвертого поколения на базе накопителя электронов нового поколения, либо ускорителя – рекуператора.

© Г. Н. Кулипанов, 2013

В помощь структурному биологу

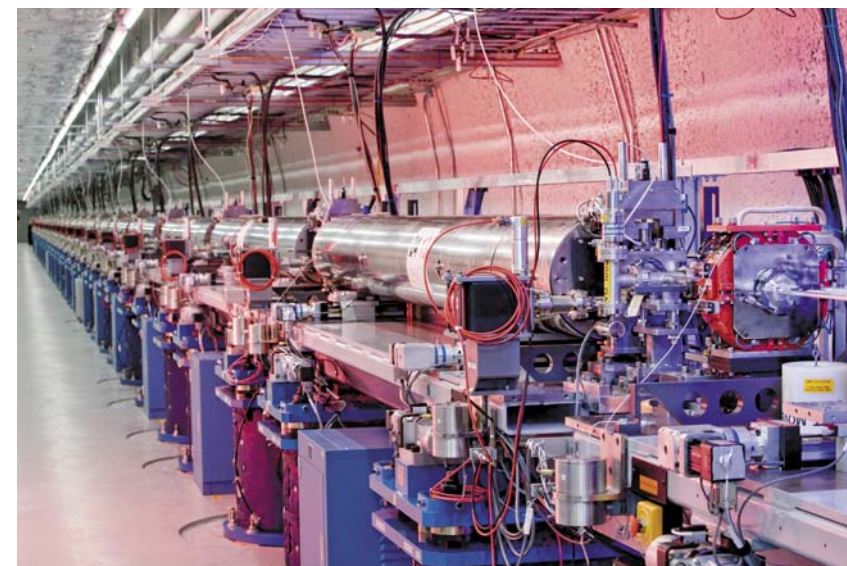
Рентгеноструктурный анализ прочно вошел в жизнь биологов с середины прошлого века. Именно тогда Дж. Кендрию из знаменитой лаборатории молекулярной биологии в Кембридже удалось после многолетней работы впервые установить структуру белка, которым стал миоглобин кашалота, который помогает киту запасать в мышцах кислород при нырянии. А его коллега М. Перуц, с которым Кендрию вскоре разделил Нобелевскую премию, в те же годы определил структуру всем известного белка гемоглобина, переносящего кислород в крови. Добавим, что Перуц, начавший эту работу в возрасте 25 лет, завершил ее только через 22 года!!

На сегодня рентгеноструктурный анализ является одним из двух методов, позволяющих с атомарной точностью определить строение таких сложнейших молекул, как белки (второй метод – спектроскопия ядерного магнитного резонанса). В идеальном случае с его помощью можно получить координаты каждого атома в молекуле, кроме атомов водорода.

Метод отличается исключительной трудоемкостью, хотя и метод ЯМР в этом смысле ему не уступает. Даже после всех усовершенствований, сделанных со времен Перуца и Кендрию, существует три узких места, ограничивающих его «пропускную способность». Во-первых, для рентгеноструктурного анализа необходим белковый кристалл достаточно больших размеров, который позволит получить качественную картину дифракции рентгеновских лучей на атомах белковых молекул, упорядоченных в кристалл. Сама же кристаллизация белков во многом сродни черной магии – осуществить ее удается далеко не для всех белков, да и получившийся дифракционный узор не всегда бывает четким.

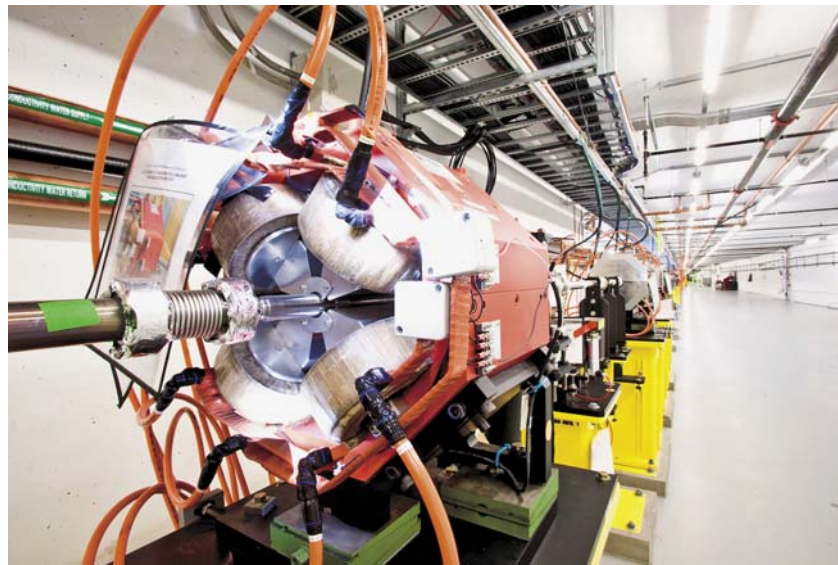


ЖАРКОВ Дмитрий Олегович – доктор биологических наук, заведующий группой взаимодействий биополимеров Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Победитель конкурса Фонда содействия отечественной науке «Лучшие ученые РАН» 2004–2005 гг. Автор 69 научных публикаций и 1 патента



Ондулятор состоит из 33 магнитов, отклоняющих проходящий электронный пучок. Возникающее при этом излучение формирует лазерный импульс рентгеновского излучения.
Credit SLAC National Accelerator Laboratory

© Д. О. Жарков, 2013



Вид вдоль линии электронного пучка. Квадрупольный магнит, изображенный слева, один из подобных магнитов, позволяющих фокусировать пучок электронов, перед тем как он попадает в ондулятор, в котором генерируется рентгеновское излучение.
SLAC National Accelerator Laboratory

Во-вторых, даже в случае хорошего кристалла для его анализа требуется достаточно яркий (т.е. мощный) пучок рентгеновского излучения. В наши дни пучки получают на больших синхротронах при помощи специальной аппаратуры, и очередь на работу на таких станциях расписана на месяцы и даже на годы вперед.

Третий ограничитель – время, необходимое на расшифровку белковой структуры по дифракционной картине расшифровать структуру – с повышением вычислительных мощностей и усовершенствованием алгоритмов стал менее актуальным, но первые два до недавнего времени оставались серьезными препятствиями. Награда же за их преодоление дорога: например, зная структуру белка, вовлеченного в патологические процессы, можно создавать лекарства, которые принесут миллиардные прибыли. Недаром представители фармацевтических компаний буквально днюют и ночуют на установках при синхротронах, платя за это немалые деньги.

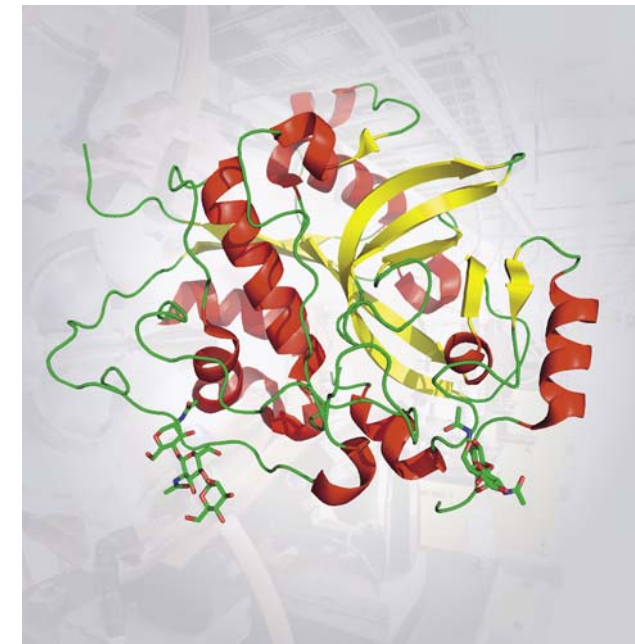
Долгое время совершенствование рентгеноструктурного анализа проходило под девизом «Меньше, ярче, быстрее»: кристалл меньших размеров легче вырастить, а более яркие источники излучения позволяют быстрее получать данные. И прорыв года, о котором сообщено в журнале «Science», поднял планку в этих соревнованиях очень высоко.

Сверхмощный рентгеновский лазер на линейном ускорителе SLAC в Калифорнии «стреляет» импульсами продолжительностью в 40 фемтосекунд (т.е. 40 миллиардных долей секунды – свет за такое время пройдет расстояние всего в 12 мкм!). Яркость излучения такова, что позволяет использовать кристаллы размером в 10–100 раз меньше, чем обычно требуется. Импульс лазера буквально испаряет кристалл, но при этом дифракционная картина успевает зафиксироваться. Несколько сотен тысяч таких «моментальных фотографий» дают картину, не уступающую по качеству обычной, но получаются они за время, измеряемое миллиардными долями секунды.

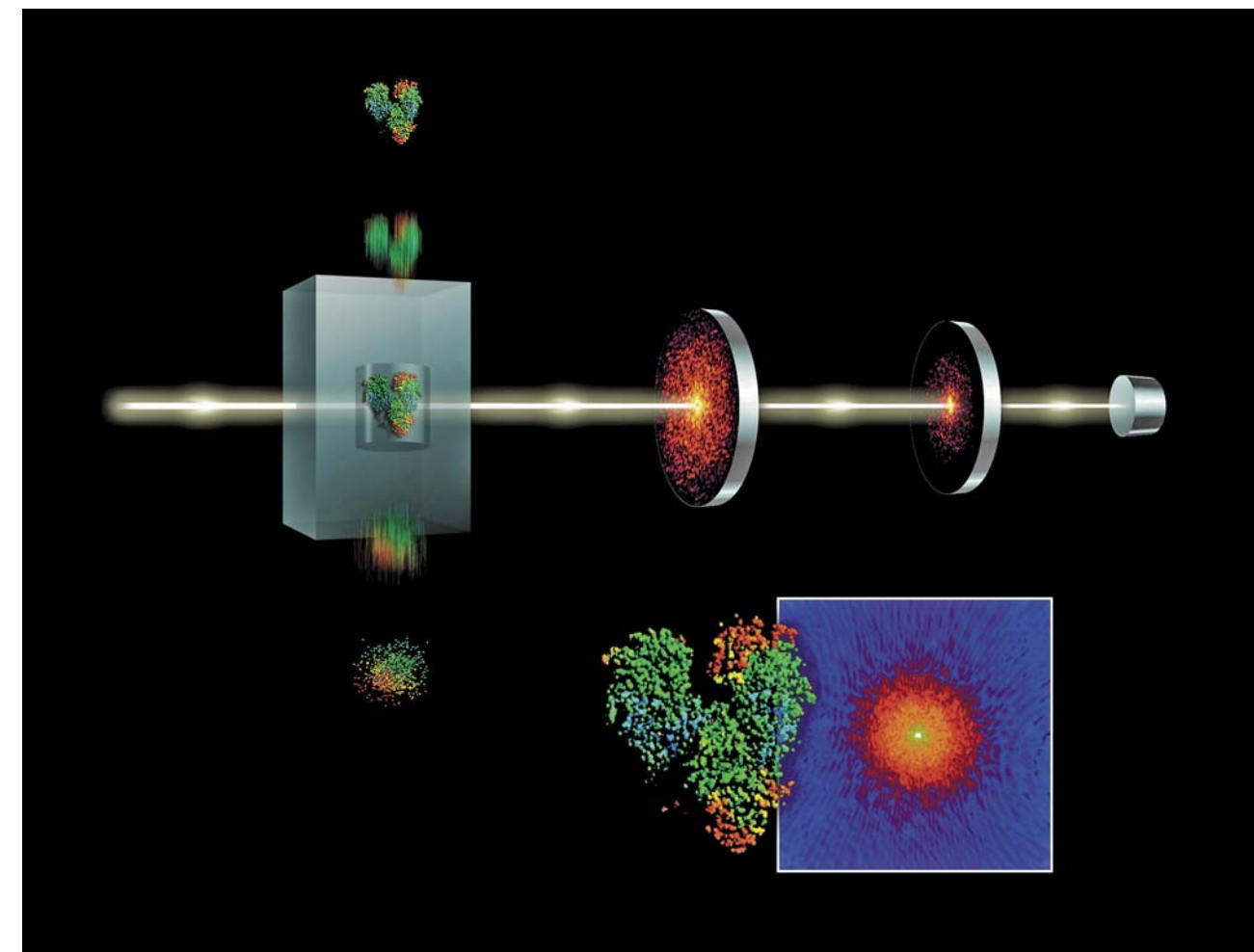
Пока что на счету уникального лазера только одна определенная структура белка. Этим белком стал катепсин D, важный компонент клеток паразита трипаносомы (*Trypanosoma brucei*) – возбудителя сонной болезни. Структурные же биологи задумываются: имеют ли рентгеновские лазеры будущее в этой области? Ведь несмотря на поразительные результаты, такая установка гораздо сложнее и дороже, чем привычные станции на синхротронах, которых в мире уже не один десяток.

Но есть надежда, что именно рентгеновский лазер позволит осуществить давнюю мечту биологов – получить дифракционную картину с отдельных молекул белка, вообще не прибегая к его кристаллизации. Это откроет перед исследователями такие перспективы, которые сейчас даже трудно представить.

Эта структура белка катепсина D трипаносомы была установлена при помощи рентгеновского лазера. Сбор самих данных занял несколько наносекунд, построение модели – несколько недель. Красным цветом обозначены элементы вторичной структуры, обозначаемые как α-спирали, желтым – как β-складки.
Рисунок выполнен Д. Жарковым при помощи программы PyMol на основании структуры 4HWY, депонированной в базе данных «Protein Data Bank» (Redecke et al., 2012)



При помощи сверхкоротких импульсов жесткого рентгеновского излучения большой мощности лазер на свободных электронах может создавать голографическое трехмерное изображение отдельных молекул. SLAC National Accelerator Laboratory



Геномные снайперы

В 2012 г. инструментарий геной инженерии пополнился новой белковой системой, позволяющей со снайперской точностью модифицировать ДНК более высокоорганизованных, чем бактерии, организмов: от дрожжей до людей. С помощью технологии TALEN ученым удалось изменить целевые гены у различных высших животных, от рыбки данио до миниатюрной свиньи

Когда в 1970-х гг. зарождалась совершенно новая область науки – геновая инженерия, оптимистам казалось, что до всеобщего благоденствия уже рукой подать. Что в недалеком будущем по полям будут бродить специально сконструированные коровы, дающие в день по цистерне молока и бифштексы со вкусом шоколада, а врачи вылечат все наследственные болезни, заменив больные гены здоровыми. Пессимисты, в свою очередь, вешали о скором выведении разнообразных кровожадных монстров и особых пород модифицированных людей, низведенных до состояния рабочего скота.

Нужно сказать, что все эти ожидания почти оправдались – по крайней мере, для микроорганизмов: сегодня по желанию действительно можно «собрать» почти любой бактериальный геном, были бы необходимые средства. Но вот с высшими организмами (эукариотами*) все оказалось гораздо сложнее...

Одна из основных причин такого отставания заключается в том, что манипулировать большим геномом таких организмов гораздо труднее, чем геномом бактерий. Относительно маленькие бактериальные генетические последовательности достаточно легко разрезать в особых точках при помощи давно известных ферментов-рестриктаз, а потом собрать заново в нужном порядке. А вот экспериментальных «инструментов», пригодных на то, чтобы прицельно вырезать из ДНК человека (или коровы) какой-то участок и заменить его на другой, до недавних пор просто не существовало.

Все существующие на сегодня трансгенные животные и растения были получены с помощью очень ограниченного числа методов, которые, к тому же, являются малоэффективными (обычно удается генетически трансформировать лишь одну клетку из тысячи) и ладают невысокой точностью (чужеродный генетический

материал часто встраивается не в то место, куда планировалось). В результате ученым удавалось получать далеко не каждое запланированное изменение свойств организма.

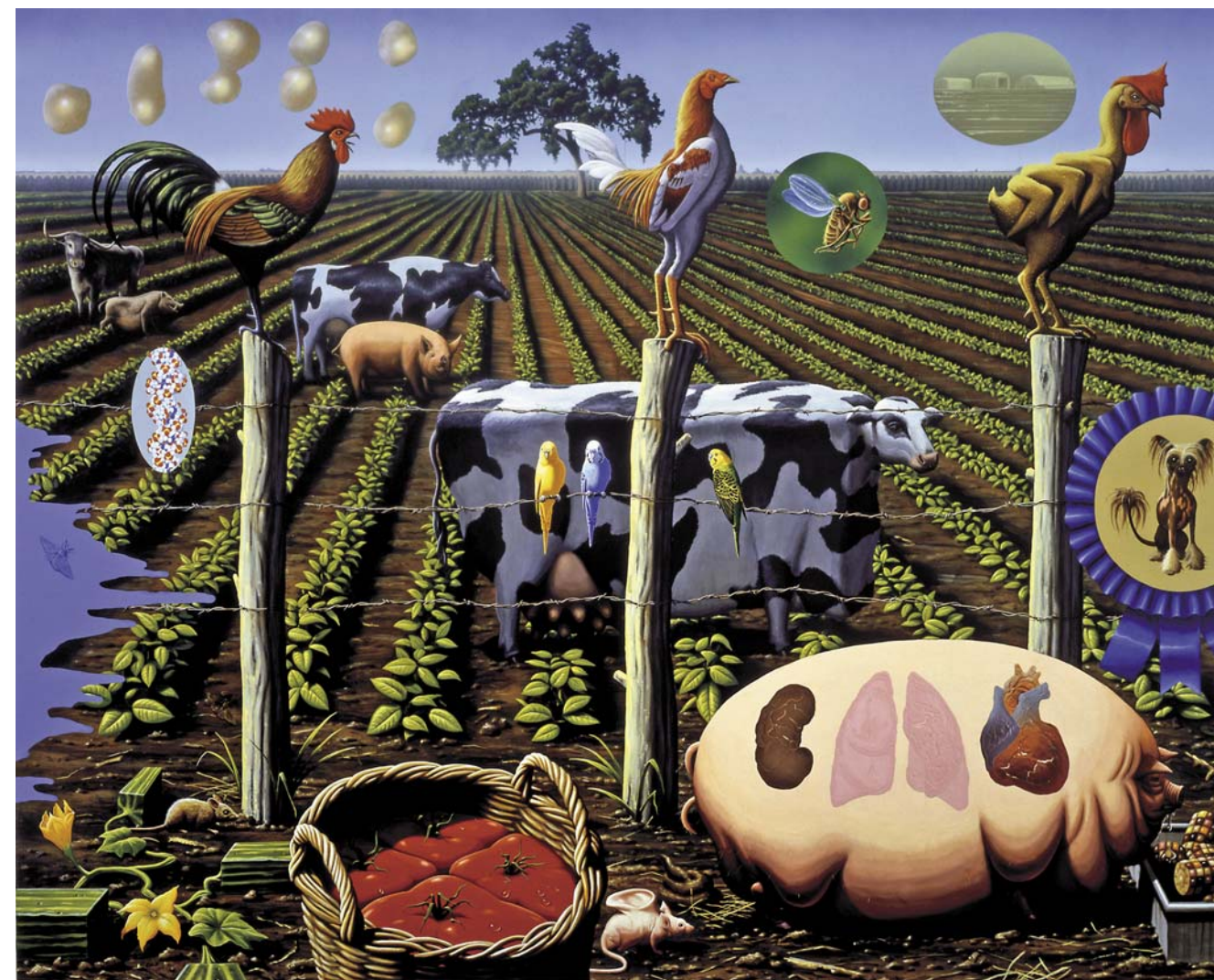
Однако за последние годы, с ростом понимания действия ферментов, специфично узнающих и изменяющих участки ДНК, инструментарий генетической инженерии начал стремительно расширяться: появились несколько ферментных систем, позволяющих прямо-таки со снайперской точностью разрезать и модифицировать ДНК эукариот.

Даже сами названия их звучат загадочно для человека непосвященного: TALEN, CRISPR, нуклеазы с цинковыми пальцами, мегануклеазы... Как правило, все эти конструкции состоят из двух частей: одна расщепляет молекулу ДНК, а другая связывается с определенной нуклеотидной последовательностью, тем самым определяя специфичность расщепления. Казалось бы, все просто, но на расшифровку кода соответствия между последовательностями ДНК и узнающих их белков потребовались многие годы работы научных коллективов.

Теперь исследователи могут вводить нужные белки (или кодирующие их генетические последовательности) в клетку и модифицировать геном непосредственно в ней. Например, в 2012 г. с помощью TALEN-нуклеаз американские исследователи из Миннесотского университета с очень высокой эффективностью модифицировали геном свиней, изменив один из генов, отвечающих за регуляцию уровня холестерина в крови. Затем из таких мутантных клеток были клонированы поросята, положившие начало линии животных, которую можно использовать в исследованиях сердечно-сосудистых заболеваний.

А ученые уже говорят о том, что с помощью таких искусственных нуклеаз в недалеком будущем станет возможным заменять мутантные гены на нормальные в раковых клетках, или удалять из генома больных СПИДом укоренившийся там вирус иммунодефицита человека... Вот так геномные снайперы становятся геномными редакторами.

© Д. О. Жарков, 2013



* Эукариоты – более сложно организованные (по сравнению с бактериями) одноклеточные и многоклеточные организмы с хорошо оформленным клеточным ядром

Ключевые слова: геновая инженерия, технология TALEN
Key words: gene engineering, TALEN technology

На картине «Ферма», созданной в 2000 г., американский художник Алексис Рокман отразил свои представления о будущем сельского хозяйства, основанном на продуктах геной инженерии.
Courtesy Alexis Rockman
The Farm 2000, 96x120". Oil and Acrylic on Wood Collection JGS Inc, New York

Древняя ДНК: от неандертальца до колбасы

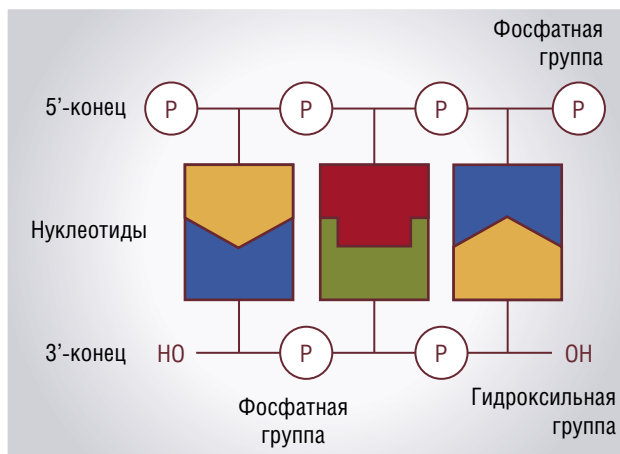
В 2012 г. эксперты журнала «Science» отметили работу молодого немецкого ученого Матиаса Мейера, который усовершенствовал способ подготовки для анализа ископаемой ДНК

Еще совсем недавно никто серьезно и не предполагал, что мы узнаем о животных и растениях, исчезнувших с лица нашей планеты, больше того, что могут сообщить ископаемые останки. Конечно, палеонтология дает много сведений о строении тела и даже образе жизни вымерших существ, но самые мощные, молекулярно-генетические методы исследования эволюционного родства, биохимии и физиологии в этом случае казались неприменимыми.

Анализ древней ДНК – область биологии, возникшая буквально на наших глазах за последние два десятка лет, для многих увлеченных наукой людей похожа на чудесное осуществление волшебной мечты. Но хотя в живой природе ДНК и используется в качестве основного носителя генетической информации, ее химическая стабильность ограничена: она может повреждаться в результате окисления, гидролиза, спонтанной утери нуклеотидных оснований и т.п. При жизни организма повреждению ДНК противостоят особые системы ее репарации («ремонта»), однако после его смерти в ДНК накапливаются необратимые изменения. В 1993 г. английский биохимик Т. Линдал опубликовал одну из самых часто цитируемых биологических статей, в которой показал, что ДНК не может сохраняться даже в самых благоприятных условиях (в отсутствие кислорода и в вечной мерзлоте) дольше миллиона лет. Если же мертвые ткани подвергаются действию высокой температуры или агрессивной химической среды, этот срок будет намного короче.

Однако, технологии анализа исчезающе малых количеств ДНК, основанные на использовании ПЦР (полимеразной цепной реакции) и массовом параллельном секвенировании, тоже не стояли на месте. С помощью

Ключевые слова: древняя ДНК, неандерталец, денисовец
Key words: ancient DNA, Neanderthaler, Denisovan



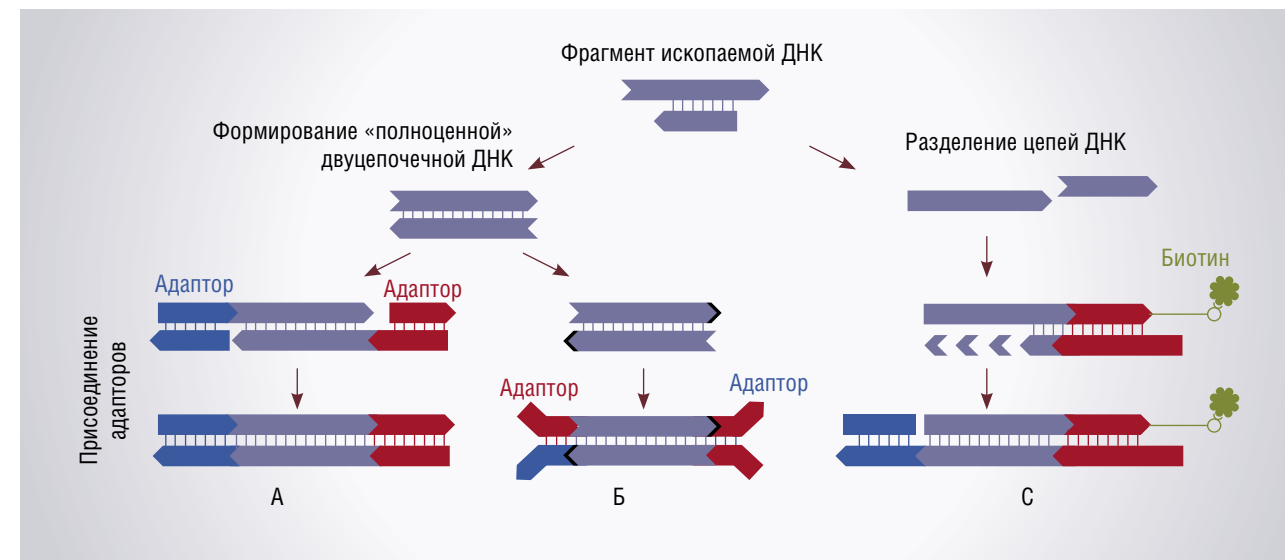
ДНК обычно состоит из двух цепей, каждая из которых составлена из отдельных звеньев – нуклеотидов, соединенных фосфатной группой. Существует четыре вида нуклеотидов; нуклеотиды разных цепей связываются между собой по принципу комплементарности (как ключ и замок). Концы линейной цепочки ДНК химически разные, один называется 5'-концом, а другой – 3'-концом. Как русский текст принято читать слева направо, так и последовательность ДНК принято «читать» от 5'-конца к 3'-концу

МЕТОД МЕЙЕРА

До недавних пор для приготовления образцов ДНК из ископаемого материала применяли два метода, основанные на «вытягивании» из древних останков фрагментов двуцепочечной ДНК. И поскольку ДНК в таких образцах сильно разрушена, ее фрагменты обычно представляют собой обломки, у которых на концах могут находиться выступающие группы одноцепочечных нуклеотидов. Но такие куски пока не умеют секвенировать, т.е. определять их нуклеотидную последовательность.

Поэтому оба традиционных метода начинаются с обработки обломка ДНК ферментом ДНК-полимеразой, который, с одной стороны, «достраивает» из кирпичиков-нуклеотидов недостающую ДНК на выступающих 5'-концах, используя их как матрицу, а также «съедает» выступающие 3'-концы. Фермент прекращает работу, когда все нуклеотиды окажутся «спаренными» (такие концы ДНК на жаргоне молекулярных биологов называют *тупыми*).

Далее два традиционных метода немного расходятся, но суть их обоих состоит в том, что к двуцепочечному фрагменту древней ДНК с двух концов присоединяются *адапторы* – небольшие синтетические двуцепочечные ДНК с известной структурой. После всех манипуляций получа-



Существует два традиционных метода приготовления секвенирования образцов («библиотек») ДНК из ископаемого материала. Первый был разработан компанией «454 Life Sciences» (А), второй – компанией «Illumina» (Б). М. Мейер из Института эволюционной антропологии общества Макса Планка (Лейпциг, Германия) предложил новый, более эффективный метод (С), который и был применен к ископаемой ДНК человека из Денисовой пещеры.
По: (Meyer et al., 2012)

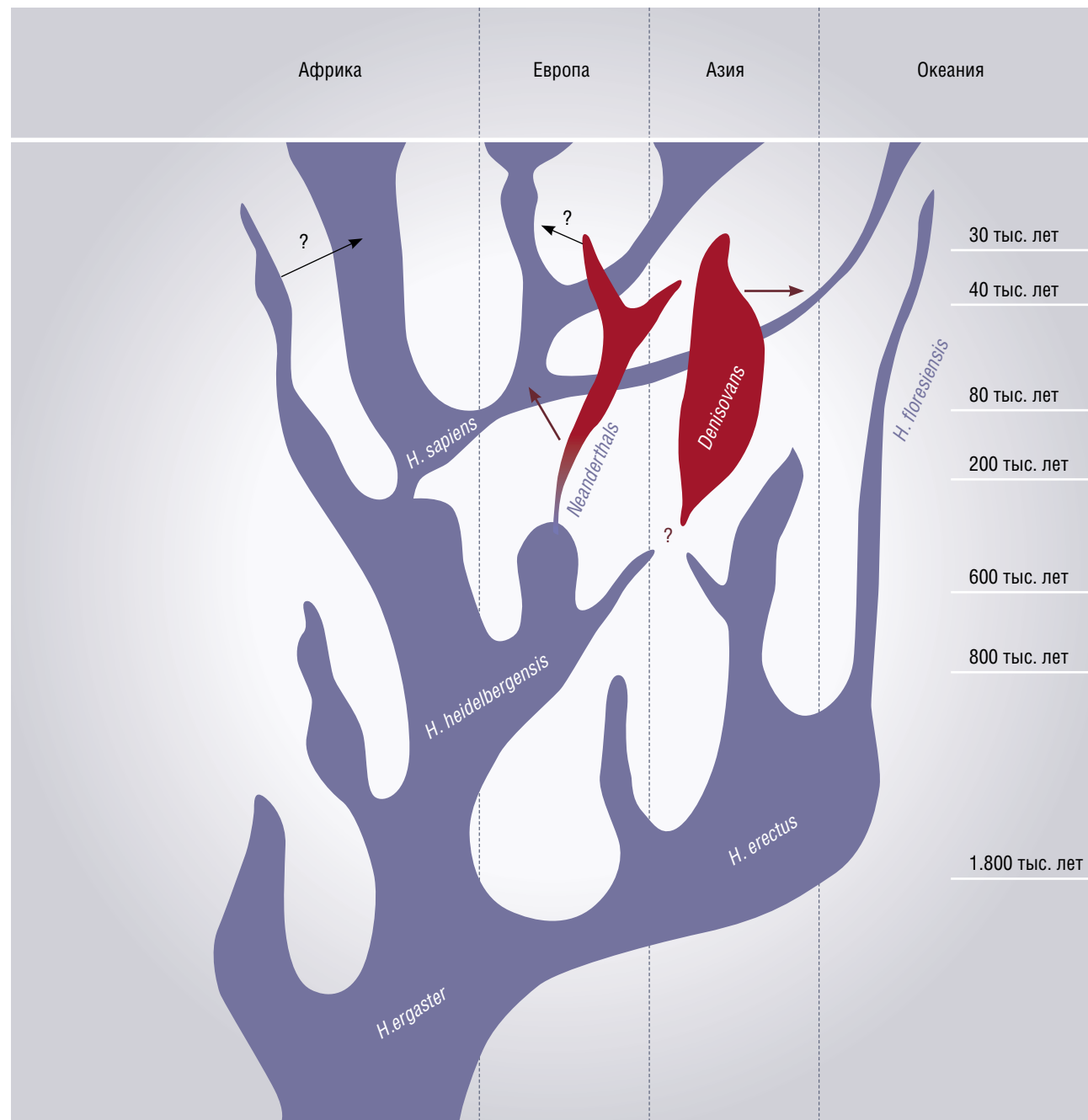
ется двуцепочечная ДНК неизвестной последовательности, окруженная адапторами – множество таких фрагментов называют *библиотекой ДНК*, которую и используют для секвенирования.

Основная проблема, связанная с использованием двуцепочечных фрагментов для построения библиотек древней ДНК, связана с тем, что исходная ДНК зачастую разрушена очень сильно. И если в одной цепи ДНК по соседству имеется несколько разрывов, то она просто развалится на куски и в библиотеку не попадет. То же самое будет и в том случае, если в ДНК есть повреждения, препятствующие работе ДНК-полимеразы. Из-за всего этого точность прочтения древней ДНК оказывается невысока. При секвенировании современных образцов для исключения случайных ошибок каждая позиция в геноме независимо прочитывается с разных копий ДНК несколько десятков раз (так называемое покрытие генома). А вот опубликованный геном денисовца имеет покрытие всего 1,9, а геном неандертальца – 1,3, что означает большую вероятность ошибки в любом месте последовательности.

Согласно методу, разработанному М. Мейером, у исследуемой ДНК удаляют фосфатную группу с 5'-конца, а затем

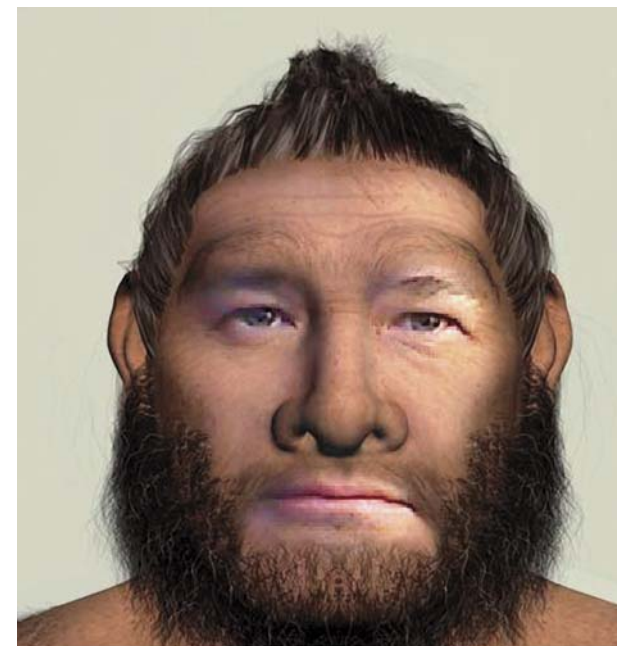
ДНК нагревают, чтобы цепи разделились. К 3'-концу такой одноцепочечной ДНК присоединяют одноцепочечный адаптор, молекулу вещества биотина. Биотин, более известный как витамин Н или витамин В7, играет здесь роль своеобразного якоря: он способен очень тесно связываться с бактериальным белком стрептавидином, что дает возможность осадить такую ДНК на микроскопические шарики, покрытые этим белком. После этого добавляется цепочка, комплементарная адаптору, и фермент ДНК-полимераза достраивает фрагмент древней ДНК по имеющейся матрице. В результате получается двухцепочечный фрагмент, к которому присоединяется еще одна пара адапторов.

Главное преимущество нового метода в том, что теперь каждый фрагмент ДНК имеет не один, а два шанса попасть в библиотеку. А учитывая то, что разрывы и другие повреждения практически не мешают адапторам присоединяться к исследуемой ДНК, представительность библиотеки, сделанной этим методом, возрастает не вдвое, а гораздо больше. Геном денисовского человека, прочитанный с помощью метода Мейера, имел 30-кратное покрытие – лучше, чем у первого генома современного человека, секвенированного лишь немногим более десяти лет назад.



Палеогенетические данные позволили по-новому взглянуть на родословную человечества. Это эволюционное дерево, отражающее предположительные «родственные» взаимосвязи между современными людьми, неандертальцами и денисовцами помещены, построено на основе результатов расшифровки геномов. Красными стрелками отмечены доказанные пути притока генов в результате скрещивания между древними человеческими популяциями, черными – возможные дополнительные пути.

По: (Lalueza-Fox and Gilbert, 2011)



этих методов сейчас возможно практически полностью определить последовательность ДНК из единственной живой клетки, а добыть достаточное для анализа количество материала из музейных или ископаемых образцов не очень древнего возраста считается у специалистов делом тривиальным.

Поэтому и радуют нас ученые сообщениями то о расшифровке генома неандертальцев, которая дает возможность судить об их цвете волос, группе крови и даже эмоциях, то о возможности восстановления таких вроде бы безвозвратно исчезнувших видов, как мамонт, дронг или сумчатый волк. Прочитать геном сегодня стало делом техники, полностью же синтезировать его станет вполне возможным уже в ближайшем будущем – это вопрос времени и цены. Останется лишь найти способ внедрить его в клетку и вырастить эмбрион.

Неудивительно поэтому, что в число достижений года журнал «Science» включил работу М. Мейера, которая, на первый взгляд, не раскрывает фундаментальных научных проблем. Однако эксперты журнала посчитали, что методика Мейера значительно продвигает исследования в расшифровке древней ДНК, к тому же первым приложением нового метода стало достаточно подробное прочтение генома денисовского человека – загадочной эволюционной ветви наших предков, открытой на Алтае археологами из новосибирского Института археологии и этнографии СО РАН.

Отечественные ученые не остаются в стороне от мировых тенденций. Так, в изучении денисовцев и остатков ископаемых животных из той же Денисовой пещеры принимают участие специалисты из разных научных центров СО РАН. А в Институте химической биологии



В Национальном музее естественной истории (Вашингтон, США) стоит забавный автомат, где любой желающий может получить свою фотографию, которую компьютер модифицирует, используя реконструкции лиц неандертальцев, сделанных на основе изучения ископаемых останков и палеогенетических исследований. Вот так автор публикации выглядел бы около 40 тыс. лет назад, будучи неандертальцем. Фото из архива автора

и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск) эксперты в области репарации пытаются приспособить соответствующие ферменты для исправления перед анализом повреждений в древней ДНК.

Кстати сказать, сходные проблемы имеются и в практических областях: в медицине (как изучить геном раковой опухоли, давно удаленной у пациента и законсервированной в формалине?), в криминалистике (как проанализировать ДНК из куска обгоревшей кости?) и даже в пищевой промышленности (как определить после всех стадий глубокой переработки сырье, из которого сделана колбаса?).

Это ли не волшебная мечта – создать технологию, которая позволит и определить цвет глаз неандертальца, и поймать преступника?

Редакция благодарит д.и.н. М.В. Шунькова (Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск) за помощь в подготовке публикации

© Д.О. Жарков, 2013

А.Я. КАПЛАН



КАПЛАН Александр Яковлевич – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией нейрофизиологии и нейрокомпьютерных интерфейсов Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники (2002 г.). Автор и соавтор 160 научных публикаций и 4 патентов

Ключевые слова: самосознание, язык, нейропсихология, аутизм, фантомные боли, нейроэстетика.
Key words: self-consciousness, human language, neuropsychology, autism, phantom pain, neuroesthetics

НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЙ СИМБИОЗ: ДВИЖЕНИЕ СИЛОЙ МЫСЛИ

Представим 2014 г., открытие чемпионата мира по футболу в Бразилии. На зеленом поле огромного – на 62 тысячи зрителей – стадиона Морумби стоит стройный юноша в форме национальной бразильской команды. Его руки и ноги оплетены легкими ажурными металлическими конструкциями, на спине – плоский ранец. Футболист замахивается и сильным ударом ноги посылает мяч. Этим символическим ударом открывается не только чемпионат, но и новая эра в протезировании, ведь юноша-футболист – инвалид, который не смог бы сделать ни одного движения без помощи надетого на него экзоскелета, непосредственно управляемого его мозгом. Именно так выглядит триумф современных биотехнологий в представлении М. Николелиса – знаменитого бразильца, который по праву считается одним из первооткрывателей нейропротезирования. Уникальные результаты, полученные в этой новой области восстановительной медицины двумя известными научными коллективами, вошли в список наиболее выдающихся достижений 2012 г. по версии журнала «Science»

Прошедший 2012 г. отмечен выдающимися достижениями в одной из наиболее интригующих областей исследования мозга – расшифровке мозговых нейронных кодов, отвечающих за организацию движения конечностей. Помимо фундаментальной значимости эти исследования представляют большой практический интерес: сегодня ученые вплотную приблизились к решению уникальной задачи – подключению к мозгу внешних электронно-механических исполнительных устройств, таких как искусственная рука. Технологиями так называемого *интерфейса мозг-компьютер*, позволяющего «силой мысли» управлять внешними электронными устройствами, уже более двадцати лет занимаются во многих нейрофизиологических лабораториях мира, в том числе и в России.

Идея заключается в том, что с помощью специальной системы (нейроинтерфейса), регистрирующей активность нервных клеток *моторной* (т.е. отвечающей за движения) коры головного мозга и дешифрующей намерение человека совершить то или иное движение, мозг напрямую соединяется с внешними

© А.Я. Каплан, 2013



Тестируя оборудование, сотрудник лаборатории Э. Шварца мысленно заставляет изображение шарика на большом телевизионном экране двигаться в разные стороны по отношению к заданной цели. Фото из архива Медицинского центра Питтсбургского университета (UPMC)

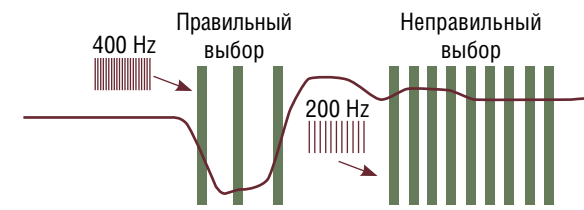
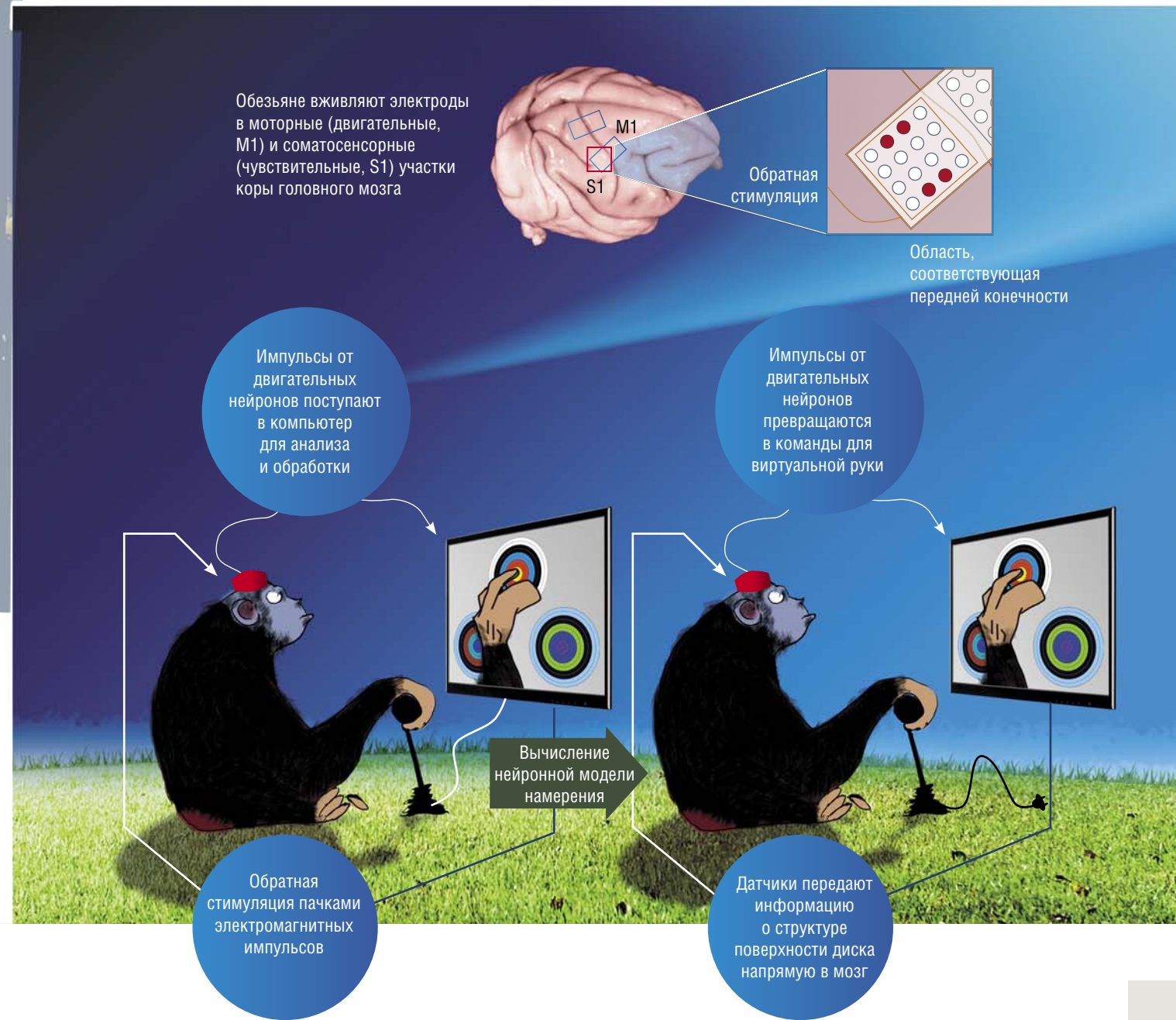
исполнительными устройствами. Это позволит здоровому человеку расширить сферу своих манипуляций, а инвалиду – получить функциональное замещение отсутствующих конечностей. При этом регистрирующие электроды могут либо вживляться в мозг, что требует сложной нейрохирургической операции, либо просто закрепляться на голове, как это делается при снятии электроэнцефалограммы. Идея проста, однако ее реализация на практике встречается с рядом трудностей.

Механизм исполнения желаний

Действительно, если бы имелась возможность перехватывать «мозговой план» человека по совершению движения, то его можно было бы в реальном времени трансформировать в команду для того же протеза, который бы стал исполнителем замысла человека. Возникает ряд вопросов. Насколько точно можно выделить (и расшифровать) намерение к конкретному движению в рисунке сложной электрической активности множества нервных клеток? Насколько такие «коды

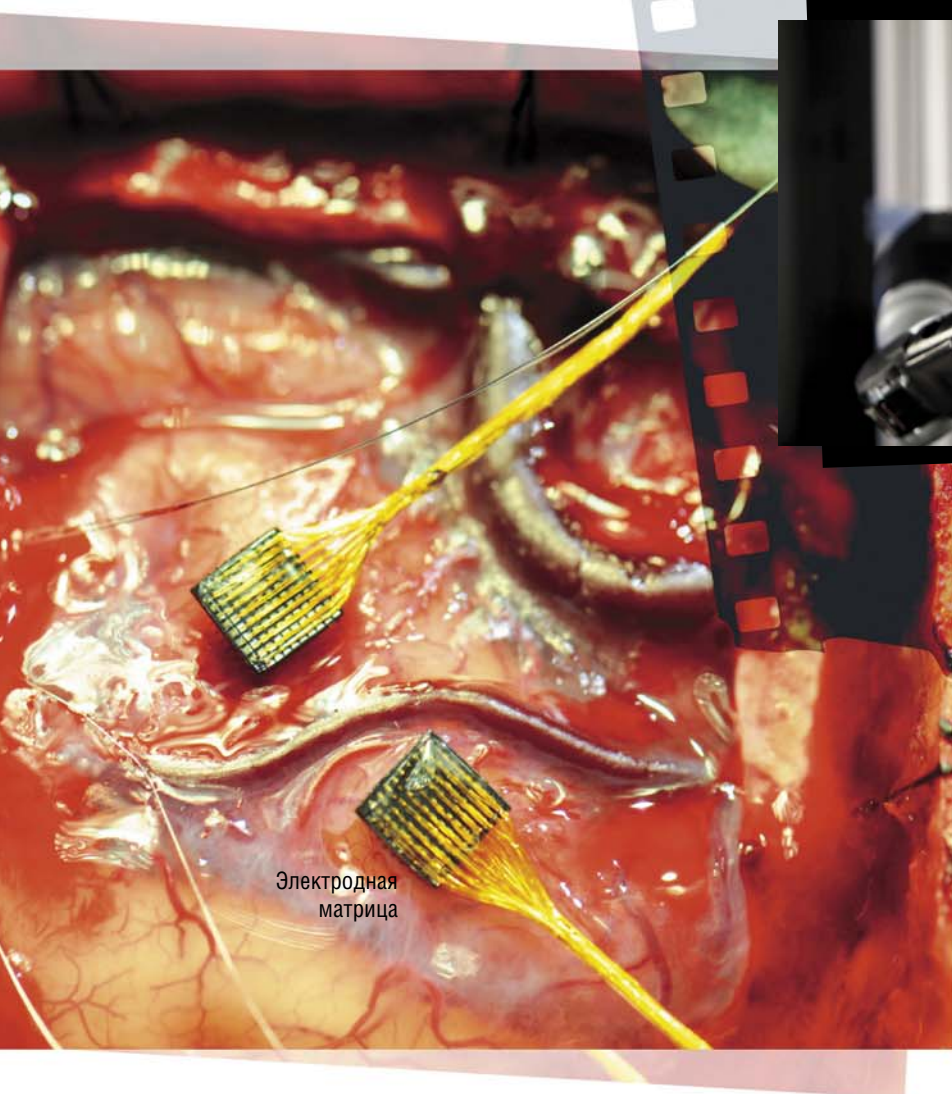
намерений» будут устойчивы во времени и при действии различных отвлекающих факторов? Достаточно ли будет мозгу одной лишь зрительной обратной связи от исполнительного устройства, чтобы полноценно замкнуть контур управления?

Кроме того, здесь вступает в действие и субъективный фактор, ведь десятки и сотни миллионов лет эволюции закрепили в мозгу животных и предков человека определенные схемы передачи мозговых планов действия системам управления мышцами. Стадию обучения управлению мышцами (фактически – внешними по отношению к нему исполнительными механизмами) мозг в обязательном порядке проходит в младенчестве. Поэтому мы особо не задумываемся при выполнении привычного движения, например, откусывая кусочек от сочного яблока или сохраняя баланс при скольжении на коньках: генетически закрепленные схемы и приобретенные навыки автоматически решают задачу, не требуя нашего внимания. Но обращению с нейроинтерфейсом придется обучаться специально: сформировавшийся мозг должен будет адаптироваться к совершенно новым условиям, когда его центральные

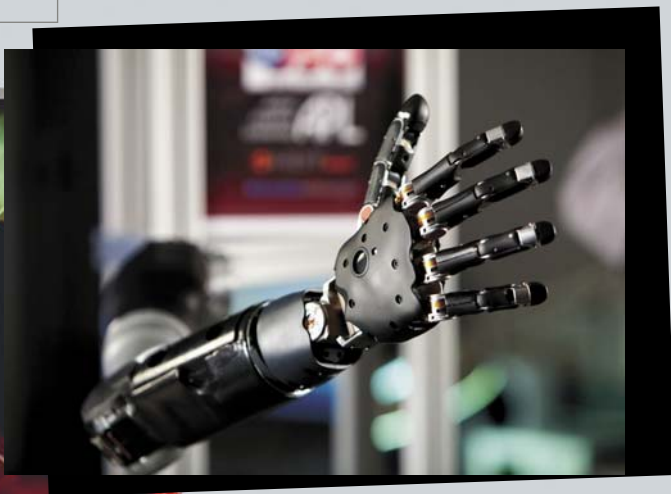


Механизм обратной стимуляции: при выборе того или иного диска на чувствительные нейроны коры мозга воздействуют пачками электромагнитных импульсов определенной частоты

При отработке на обезьянах технологии интерфейса мозг–компьютер (ИМК) животное на первом этапе обучалось посредством рычага управлять виртуальной рукой, выбирая на экране компьютера диск с определенной текстурой поверхности. Правильный выбор сопровождался стимуляцией клеток коры частыми пачками электромагнитных импульсов (и вознаграждался фруктовым соком), неправильный – редкими. По мере вычисления нейронной модели намерения систему отключали от ручного управления, и виртуальная рука посредством ИМК-технологии начинала получать команды непосредственно от мозга. По: (Nicolelis, 2011; с модификациями)



Электродная матрица



Механическая рука-робот сконструирована в лаборатории прикладной физики Университета Джона Хопкинса (JHU/APL). Фото DARPA и JHU/APL

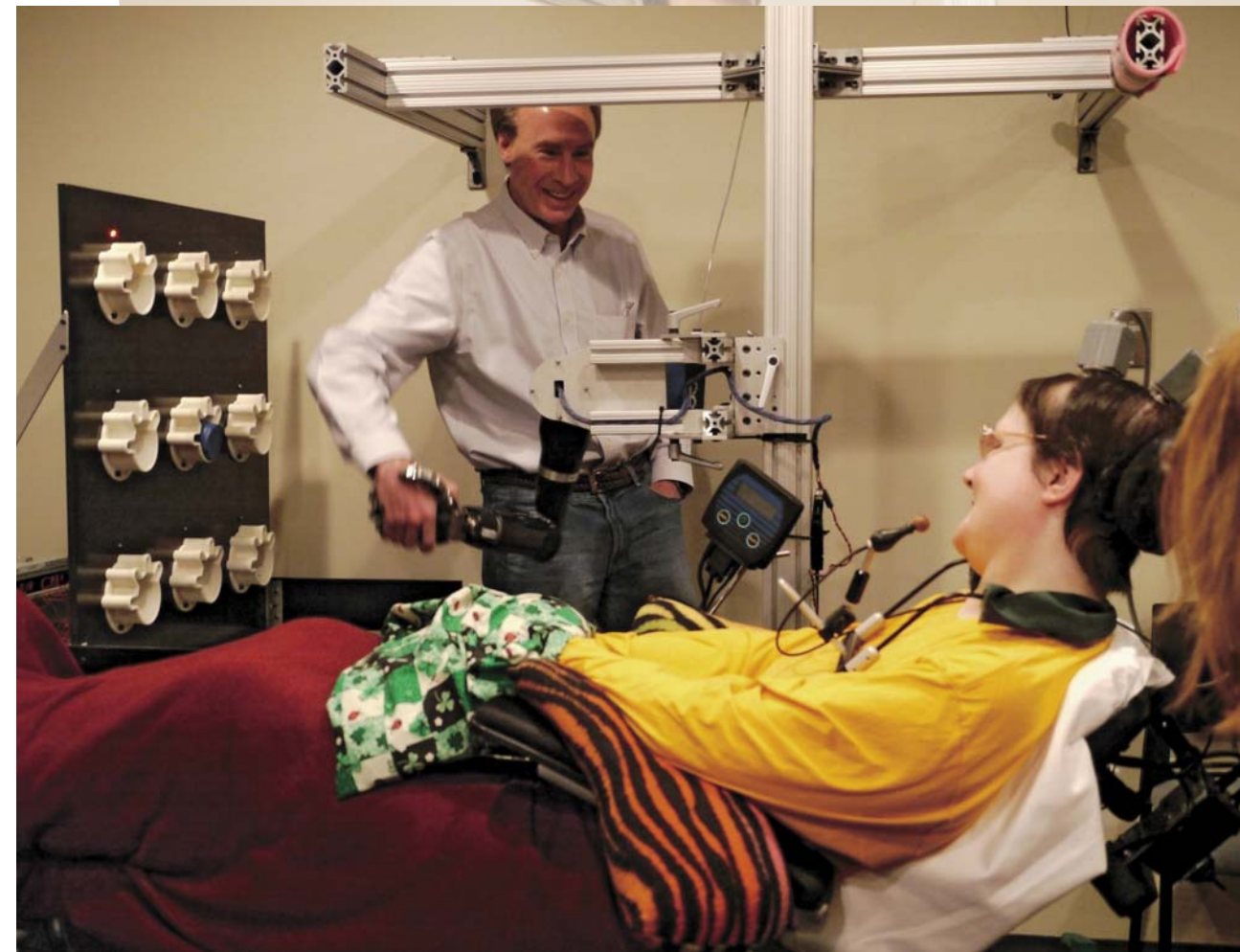
В феврале 2012 г. пациентке Э. Шварца, полностью лишенной двигательной функции, в кору головного мозга были вживлены две матрицы по 96 электродов, с помощью которых впоследствии регистрировалась активность до 270 корковых нейронов. Фото из архива Медицинского центра Питтсбургского университета (UPMC)

РУКА-РОБОТ

Искусственная рука, которую использовали для экспериментов по нейропротезированию в лаборатории Э. Шварца, сама по себе заслуживает внимания. Этот уникальный манипулятор, названный «Modular Prosthetic Limb», был создан по заказу Управления перспективных исследований Министерства обороны США (DARPA) в лаборатории прикладной физики Университета Джона Хопкинса (JHU/APL) и, кстати, обошелся заказчику почти в 15 млн долларов.

На сегодняшний день это, возможно, самая сложная искусственная конечность в мире. В скором времени ее предполагается оснастить датчиками, измеряющими физические параметры окружающей среды, и исследователи примутся за обратную задачу, касающуюся проведения информационных потоков от протеза к мозгу.

Исследования, проводимые командой Э. Шварца, также финансировались агентством DARPA, как и разработка самой механической руки. Это наводит на мысль о существовании единого проекта, который предусматривает помимо создания искусственной руки с системой мозгового управления еще и разработку экзопротеза. Последний позволит не только замещать, но и поддерживать вышедшие из строя двигательные системы тела и само туловище. Возможно, об испытании такого экзопротеза в контуре интерфейса мозг-компьютер мы услышим уже в ближайшее время



программы будут транслироваться к исполнительным устройствам напрямую, минуя нервы и мышцы.

Признаться, что чем больше вдумываешься в операционную архитектуру мозга, тем больше скепсиса вызывает возможность полноценного управления с помощью интерфейса мозг-компьютер, например, протезом руки. Ведь даже самый продвинутый протез лишен возможности обеспечить мозгу тот поток обратной связи о текущем состоянии элементов двигательной системы, к которому мозг приспособлен в естественных условиях, т.е. при управлении рукой из плоти.

И совсем неправдоподобной выглядит гипотеза, что конкретное намерение человека при его повторении каждый раз будет иметь одинаковое отображение в виде активности двух-трех сотен нервных клеток двигательной коры, расположенных на месте вживления электродов, выбранном достаточно случайным образом. При этом именно от точности расшифровки намерений

Спустя две недели после вживления электродов Джэн Шерман научилась управлять рукой-роботом, которую она назвала Гектор.

На фото – Шерман, а точнее – ее механическая рука, обменивается рукопожатием с заведующим лабораторией «MotorLab» Э. Шварцем. Фото из архива Медицинского центра Питтсбургского университета (UPMC)

к тому или иному движению зависит, насколько быстро и прочно закрепятся в мозгу новые схемы «исполнения желаний», насколько сложные и разнообразные движения сможет выполнить человек или животное посредством управляемых манипуляторов или протезов.

Можно было бы и далее множить нейрофизиологические аргументы «против», чтобы, по крайней мере, не увлекаться футуристическими ожиданиями

в области интерфейса мозг–компьютер, но всем им противостоит один фундаментальный аргумент «за», а именно: невероятная пластичность самого мозга. Наверное, именно этим обстоятельством обусловлен тот факт, что, несмотря на все скептические прогнозы, нейротехнологии с использованием нейроинтерфейса в последнее десятилетие развиваются особенно бурными темпами.

«Третья рука» обезьяны

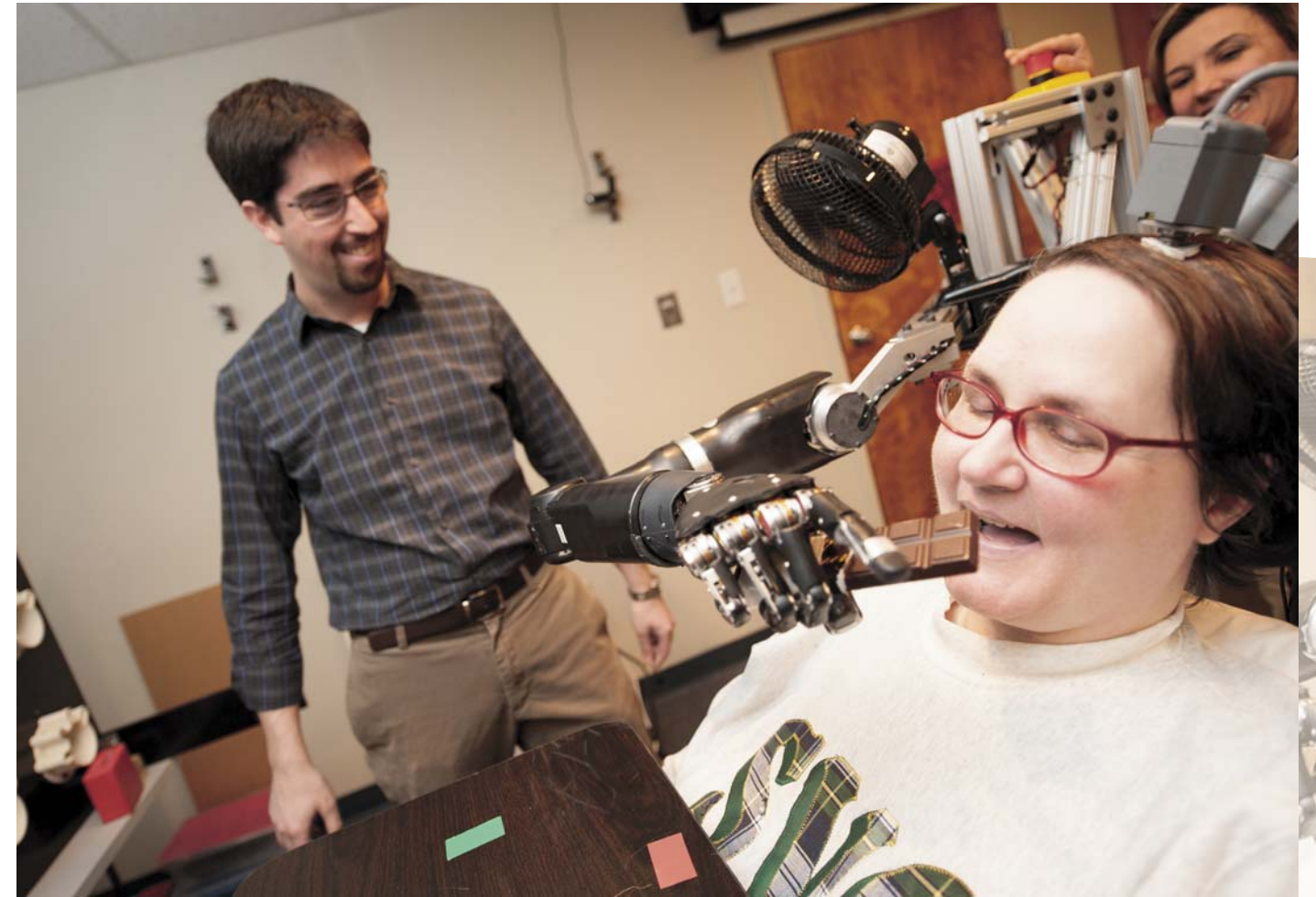
Среди реальных достижений в области использования интерфейса мозг–компьютер в первую очередь нужно отметить широко известные исследования нейробиологов Д. Чапина (Университет Нью-Йорка, США) и М. Николелиса (Медицинский центр при университете Дьюка, США). В их опытах на животных, в кору головного мозга которых были вживлены электроды, управляемый «силой желания» манипулятор исправно подавал крысе поилку, а обезьяне бутылочку с соком тотчас, как только у последних появлялось желание утолить жажду.

Впечатляющие результаты были получены и в экспериментах на людях, по той или иной причине лишенных двигательной функции. В 1999–2000 гг. Ф. Кеннеди и Р. Бакей (Университет Эмори, Атланта, США) впервые вживили электроды для регистрации активности нервных клеток пациенту, полностью обездвиженному после автомобильной катастрофы. В результате че-

ловеку, многие годы пребывавшему в состоянии вынужденного бездействия, удалось фактически только «силой мысли» двигать курсор по экрану компьютера и набирать тексты.

В Интернете сегодня можно найти множество коротких видеоклипов, показывающих, как человек или обезьяны управляют манипуляторами или игрушками посредством нейроинтерфейса. Но все они представляют собой лишь удачные «кинопробы», а это только верхушка айсберга. Научная оценка надежности целевых действий таких испытуемых свидетельствует, что ошибки составляют 25–40 %, и обусловлены они преимущественно недостаточно точной расшифровкой намерений. К тому же человеку с вживленными электродами никогда не удавалось достигнуть более или менее естественного управления протезом: все ограничивалось выполнением нескольких целевых движений, причем далеко не с первой попытки. Чем не оправдание исходного скепсиса в отношении возможностей нейроинтерфейсных технологий?

Видео- и фотоматериалы запечатлели поразительные достижения 52-летней Дж. Шерман, больной тетраплегией. На фотографиях видно, как с помощью управляемой мыслью механической руки Джэн берет из рук ассистента Б. Водлингера плитку шоколада, подносит ее ко рту и откусывает кусочек.
Фото из архива Медицинского центра Питтсбургского университета (UPMC)





С помощью мысленно управляемой механической руки Дж. Шерман успешно складывает пирамидку из пластмассовых конусов. Фото из архива Медицинского центра Питтсбургского университета (UPMC)

Как ни удивительно, но надежда на прорыв появилась благодаря нашим братьям меньшим: оказалось, что обезьяны стали подозрительно опережать испытуемых людей в опытах по расшифровке намерений на основе регистрации электрической активности нейронов.

В начале 2000-х гг. в лабораториях М. Николеллиса и Д. Донахью (Университет Брауна, Провиденс, США) обезьяны, благодаря совокупным усилиям математиков, инженеров и нейрофизиологов, стали ловко орудовать приставным манипулятором (по сути, дополнительной рукой) в трех измерениях (Nicollelis, 2001; Donoghue, 2002). Новоявленный обезьяний «Шива» из лаборатории Николеллиса в 2011 г. получил для своей «третьей руки» даже датчики, которые могли кодировать и напрямую, посредством стимуляции сенсорных областей коры, передавать в мозг особенности поверхности целевых объектов, с которой они якобы соприкасались (O'Doherty *et al.*, 2011). Так протез впервые получил сенсорное обеспечение, замкнутое непосредственно на мозг.

Поразительно, как быстро высокая пластичность мозга позволила животному приспособиться манипу-

лировать объектами внешней среды с учетом текстуры их поверхности! Например, обезьяна научилась хватать манипулятором на экране монитора только те виртуальные диски или шары, которые обладали определенными и при этом зрительно не распознаваемыми поверхностными особенностями! Так в контуре интерфейса мозг–компьютер была впервые замкнута петля обратной связи – он стал интерактивным.

От манипулятора – к нейропротезу

В 2012 г. американские журналы *Nature* и *The Lancet* опубликовали еще более впечатляющие результаты работ двух именитых научных коллективов, но на этот раз в качестве испытуемых выступили уже люди, больные тетраплегией (параличом всех конечностей), т. е. полностью лишённые двигательной функции.

Группа исследователей под руководством Донахью сообщила о первом успешном испытании протеза руки, управляемого непосредственно мозгом пациентов –

женщины 58 лет и мужчины 66 лет, которые в течение многих лет были полностью обездвижены и лишены речи в результате инсульта. В мозг испытуемых, в зону, отвечающую за движения правой руки, была вживлена матрица 4×4 мм из тонких (40–50 мкм) игольчатых электродов длиной 1,5 мм. Оба пациента научились подводить манипулятор к целевому предмету (например, к термосу с кофе) и захватывать его, а иногда даже подносить термос ко рту (Hochberg *et al.*, 2012).

Но при всей внешней эффективности соответствующих кино- и фотоматериалов достижения были достаточно скромные: после почти пятилетнего еженедельного тестирования пациентке лишь в половине случаев удавалось подвести манипулятор к целевому объекту и захватить его. Мужчина после пятимесячных тренировок достигал успеха в двух из каждых трех попыток. Таким образом, добиться полноценного владения протезом с помощью нейротехнологии не удалось – испытуемые смогли управлять протезом лишь в рамках ограниченного набора трафаретных движений.

Складывалось впечатление, что во всех этих случаях мозг не научился управлять траекторией движения протеза в трехмерном пространстве, а мог лишь после большого числа проб и ошибок кое-как задавать короткие сегменты его движений, последовательно приближая протез к целевому объекту. К тому же оставался неясным вопрос о помощи, которую оказали испытуемым сами манипуляторы, разработанные в рамках оборонного ведомства для выполнения разнообразных задач и имевшие весьма продвинутую автоматику для сглаживания и доводки движений. Без такой высокотехнологичной поддержки мысленное управление могло оказаться еще менее успешным.

Гораздо результативнее оказалась работа второй группы исследователей под руководством Э. Шварца, заведующего лабораторией «MotorLab» (Университет Питтсбурга, США). Среди 11 авторов статьи этого коллектива, опубликованной в журнале «The Lancet» (Collinger *et al.*, 2012), – биоинженеры, нейрохирурги, нейрофизиологи и специалисты по вычислительной математике и кибернетике из девяти научно-исследовательских и медицинских учреждений, преимущественно локализованных в г. Питтсбург (США).

Видео- и фотоматериалы, хранящиеся на сайте лаборатории, запечатлели поразительные достижения их пациентки: 52-летняя Джэн Шерман – больная тетраплегией, но с сохраненной речью, управляла манипулятором почти как собственной рукой. Самое удивительное, что при этом она еще и комментировала свои действия! Это означает, что достигнутый ею уровень автоматизация управления манипулятором аналогичен владению собственной рукой.

В чем же секрет этого поистине революционного прорыва в области нейрокомпьютерных симбиозов?

Слушаю и повинуюсь!

Ведущим экспериментальным методом Э. Шварца, посвятившего почти 30 лет изучению кодов мозга, управляющих движениями конечностей, является регистрация электрической активности нейронов моторной коры головного мозга. Как и другие нейробиологи, он пытался «поймать» контуры формирования замысла того или иного движения, отследить процесс претворения двигательных программ в реальные движения. Обычно исследователи, работающие в этой области, идут по пути создания библиотек эталонных пространственно-временных карт активности нейронов, характерных для фрагментов того или иного движения. Сравнивая текущую активность нейронов с этими эталонными «картинами», можно определять моменты, когда они будут совпадать. Тогда мы можем считать, что расшифровали намерение (текущая активность совпала с эталонной, например, обозначающей «хочу поднять руку вверх»). Теперь, зная, каково намерение, мы можем транслировать эту команду манипулятору и выполнить движение (поднять его вверх).

Еще в 1986 г. Э. Шварц со своим старшим коллегой А. Георгополосом показали, что каждый двигательный нейрон своей электрической активностью вносит определенный вклад в программирование направления движения конечности; направление же траектории движения в каждый момент времени определяется итоговым вектором разряда всех задействованных корковых нейронов (Georgoroulos *et al.*, 1986). Грубо говоря, транслировать планы мозга в движение манипулятора можно, вычислив в реальном времени этот интегральный вектор направления по активности отдельных нейронов, при этом для точности вычислений необходимо отслеживать достаточно большой пул нейронов. Поэтому в феврале 2012 г. пациентке было вживлено сразу две матрицы по 96 электродов, с помощью которых удавалось регистрировать активность до 270 корковых нейронов одновременно.

Но здесь возникла очередная трудность, связанная с проблемой построения калибровки. Как понять, какому направлению соответствует интегральный вектор, рассчитанный на основе электродных матриц, если пациент не владеет своей рукой и не может продемонстрировать движение? Был найден поистине удачный выход: пациентке было предложено просто наблюдать за движениями манипулятора, управляемого компьютером, и представлять себе, что эти действия совершает ее рука. Предполагалось, что одно только наблюдение этого действия будет модулировать активность нейронов, таким образом создавая основу для вычисления специфического суммарного вектора направления движения.

КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ

В новосибирском Академгородке я оказался холодной снежной зимой в конце 1986 г. в качестве командированного от кафедры физиологии человека МГУ. Здесь, в отделе комплексных исследований нейронных систем Института автоматики и электрометрии СО АН СССР, под руководством М. Б. Штарка (тогда еще профессора, а теперь академика РАН) строилась первая в России система биотехнической саморегуляции организма человека на основе микроконтроллеров. Сегодня такие системы более известны как технологии биологической обратной связи.

Открытие таких технологий состоялось еще в 1960-х гг., когда американские нейрофизиологи Н. Миллер и Д. Камия независимо друг от друга показали, что человек может научиться управлять параметрами таких автономных физиологических функций, как частота сердцебиения, тонус сосудов и, наконец, спектр самой электрической активности головного мозга.

С начала 1980-х гг. центром этих разработок и клинических приложений, а с кого-то момента даже «законодателями мод» в этом направлении и стала лаборатория Штарка. Сегодня эти разработки известны далеко за пределами Сибири и России. Их изюминка состоит в том, что измерения саморегулируемых параметров организма представляются на экране монитора не обычными скучными столбиками, которые испытуемому требуется удерживать выше или ниже определенной линии, а увлекательными играми, в которых от измерений физиологических параметров зависит, например, скорость погружения соревнующихся водолазов или пышность распускающихся бутонов цветов. По сути, речь идет о тех же индикаторах успешности регуляции состояния человека, но с гораздо более выраженным эмоциональным компонентом.

Моя командировка оказалась очень успешной. Знакомство с работами по биологической обратной связи, которые велись в Новосибирске, позволили начать на кафедре физиологии человека в МГУ исследования по новой реализации биологической обратной связи, при которой параметры электроэнцефалограммы используются уже в качестве команд для управления внешними исполнительными устройствами (например, клавиатурой компьютера или радиоуправляемыми устройствами). В этом случае технология биологической обратной связи интегрируется в более универсальную нейрокомпьютерную систему, где внешние объекты (пусть те же соревнующиеся аквалангисты) становятся не просто индикаторами успешности саморегуляции, а собственно объектами динамического управления

Успех превзошел все ожидания: когда на второй день после окончания двухнедельного курса «тренировки» манипулятор подключили к мозгу пациентки, Дж. Шерман, она смогла обменяться рукопожатием с участником эксперимента, используя кисть манипулятора. А спустя 14 недель уже всю манипулировала искусственной рукой с надежностью 91,6 %: на видео и фотоматериалах зафиксировано, как с помощью манипулятора она кормит себя шоколадом и угощает гостей печеньем.

Работы коллектива лаборатории Э. Шварца стали настоящим триумфом технологии интерфейсов мозг–компьютер. Кстати сказать, попутно удалось прояснить и причину успеха, которого добились в освоении манипулятора обезьяны: очевидно, они, подобно Дж. Шерман, наблюдали за своей рукой, а потом и за манипулятором как бы со стороны, формируя целостный образ движения.

Из глубин подсознания

Технологии нейрокомпьютерных интерфейсов сегодня разрабатываются не только за рубежом, но и в России. Первая отечественная публикация, прямо связанная с разработкой такой технологии, по-видимому, вышла из стен лаборатории нейрокомпьютерных интерфейсов в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова (Kaplan *et al.*, 2005). В ней обсуждался очень важный вопрос: может ли мозг самостоятельно, без волевого участия человека, напрямую (без посредства мышц и нервов) установить коммуникацию с внешней средой, если ему обеспечить прямой канал связи? Ведь все разработанные до этого протоколы интерфейсов мозг–компьютер требовали от человека направленного внимания, не оставляя ему возможности попутно заниматься другой деятельностью.

В эксперименте испытуемым, которым снимали электроэнцефалограмму, предлагали одновременно смотреть на экран монитора. При этом они не знали, что цветовая палитра монитора определялась исключительно соотношением величины мощности определенных диапазонов спектра их ЭЭГ. Исследователи исходили из предположения психологов, что каждый человек имеет свои неосознанные цветовые предпочтения, так что в созданном контуре мозг сам мог установить на мониторе нужную палитру. Оказалось, что 12 из 15 испытуемых на 3–4-й день тренировок действительно показали индивидуально воспроизводимую стабилизацию определенной цветовой гаммы. Так было доказано, что мозг способен неосознанно управлять параметрами внешнего мира – нужно только дать ему рычаги для такого управления!

Помимо этого исследователям из МГУ удалось улучшить характеристики системы набора текста через интерфейс мозг–компьютер, разработанный в 1988 г. американскими нейрофизиологами Э. Дончином и Л. Фарвелом. Согласно этому методу, меткой, указывающей на букву алфавита, которая в данный момент находилась в фокусе внимания человека, служила одна из волн электроэнцефалограммы, появляющаяся в ответ на предъявление целевого стимула только через 300 мс после его включения. Модификация методики позволила уменьшить время калибровки алгоритмов на распознавание индивидуальных форм волн и повысить надежность методики до 95 % (Shishkin *et al.*, 2009). На этой основе были построены интерфейсы мозг–компьютер с подвижными элементами: в отличие от статичной системы набора текста, в таких интер-

фейсах фигуры на экране перемещаются, при этом их движением можно управлять через нейроинтерфейс. Эта разработка пригодится при создании интерфейсов, управляющих мобильными роботами и игровыми приложениями (Shishkin *et al.*, 2011; Kaplan *et al.*, 2013, in press).

Ход слонем: автор со студентом-дипломником А. Васильевым тестируют нейроуправление манипулятором на примере игры в шахматы. Манипулятор откликается на команды мозга, полученные от электроэнцефалографических электродов, закрепленных на коже головы. Фото из архива автора



ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ И НЕЙРОНАУКИ

Функциональная магнитно-резонансная томография – это технология исследования активности зон мозговых структур в реальном времени. Она базируется на различии в магнитных свойствах оксигемоглобина (носителя кислорода) и дезоксигемоглобина (вещества, образующегося в местах потребления кислорода). Соотношение этих двух веществ отражает физический феномен – контрастность, обусловленную различным уровнем насыщения крови кислородом.

Локальное кровенаполнение мозговой ткани увеличивается при процессах формирования или реорганизации нейронных ансамблей, обеспечивающих разнообразные операции (сенсомоторные, речевые и т. п.). Таким образом, визуализируя изменения гемодинамических реакций, можно визуализировать и эти мозговые реакции.

Функциональная магнитно-резонансная томография имеет ряд преимуществ в сравнении с другими технологиями исследования высшей нервной деятельности, в первую очередь – исключительно высокое пространственное разрешение и возможность многократного повторения исследования. Можно говорить о грядущей новой эпохе в исследованиях головного мозга – создании «географической» функциональной карты высшей нервной деятельности человека.

В Новосибирске исследованиями, связанными с нейрокомпьютерными технологиями, занимается отдел биофизики и биоинженерии Института молекулярной биологии и биофизики СО РАН, возглавляемый академиком РАН М. Б. Штарком. В частности, здесь разрабатывается технология биоуправления, основанная на принципе обратной связи. Суть ее в том, что с помощью технических устройств человек получает информацию о состоянии той или иной функции своего организма (например, пульса) и учится произвольно изменять значения этого параметра. Весь процесс зачастую происходит в форме игрового сюжета.

Такая технология может быть использована как с диагностической целью (например, для диагностики стрессоустойчивости), так и с лечебной (например, для реабилитации после травм позвоночника).

С помощью технологии функциональной магнитно-резонансной томографии, позволяющей в реальном времени исследовать активность различных зон мозга, можно визуализировать процессы биоуправления: создать «карту» активности нейронов, отследить формирование нейронных сетей. Такие разработки открывают широкие возможности для диагностики и коррекции различных неврологических состояний.

Старший научный сотрудник лаборатории нейрофизиологии и нейрокомпьютерных интерфейсов МГУ А. Кочетова настраивает антропоморфным роботом NAO. Новизна технологии состоит в том, что информационный обмен между человеком и роботом происходит «глаза-в-глаза»: робот «подмигивает» разными цветами, а человек фокусирует свое внимание на определенной цветовой комбинации. Фокус внимания человека распознается в реальном времени по его электроэнцефалограмме: робот интерпретирует переданный сигнал как команду к определенному действию, ассоциированному с данной цветовой комбинацией.

Фото из архива автора

В настоящее время в лаборатории нейрокомпьютерных интерфейсов МГУ идет разработка систем интерфейса мозг–компьютер для управления антропоморфным роботом и антропоморфными манипуляторами (протезами). В будущем такие системы можно будет использовать для тренировки движений у временно парализованных пациентов, чтобы поддерживать моторные программы мозга в действии в самый острый период, когда собственные мышцы и нервы еще не в силах выполнять команды мозга.

Но лаборатория нейроинтерфейсов в МГУ – не единственное место в России, где сейчас занимаются нейрокомпьютерной проблематикой. Так, в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (Москва) под руководством д. б. н. Г. А. Иваницкого и д. б. н. А. А. Фролова разрабатываются эксклюзивные алгоритмы классификации паттернов электроэнцефалограммы, позволяющие ученым создавать прототипы интерфейсов мозг–компьютер, которые в недалеком будущем дадут постинсультным пациентам возможность овладеть парализованными частями тела с помощью управляемых мозгом экзопротезов. А в Институте нейрокибернетики им. А. Б. Когана (Ростов-на-Дону) под руководством профессоров Б. М. Владимирского и В. Н. Кироя на основе технологий интерфейсов мозг–компьютер разработаны системы управления инвалидной коляской, которые уже в недалеком будущем позволят больным передвигаться без посторонней помощи. В более же далекой перспективе такие технологии дадут нам возможность управлять тихходными передвижными средствами.



Технология интерфейса мозг–компьютер в первую очередь, безусловно, ценна своими возможными практическими приложениями. Но немаловажным обстоятельством является и то, что в этом случае мы встречаемся с возникновением новой парадигмы исследования в психофизиологии. Ученые впервые получили концептуальный инструмент, который ставит мозг человека в уникальную экспериментальную ситуацию – прямого подключения к внешнему миру.

Сможет ли мозг адаптироваться к условиям, когда его центральные программы могут быть напрямую транслированы к исполнительным устройствам, минуя нервы и мышцы? Наконец, как глубоко сможет мозг интегрироваться в цифровую мультимедийную реальность, если дать ему возможность управлять параметрами этой реальности? Может быть, нейрокомпьютерные интерфейсы, – это закономерный технологический ответ на вызовы высокоиндустриальной цивилизации?

Стремительное развитие современных нейрокомпьютерных технологий служит залогом того, что нам недолго предстоит ждать ответа на все эти вопросы.

Литература

Ганин И. П. и др. Интерфейс «мозг–компьютер» «на волне P300»: исследование эффекта номера стимулов в последовательности их предъявления // Физиология человека. Т. 38. № 2. С. 5–13.

Collinger J. L. et al. High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia // The Lancet. 2012. № 6736(12). P. 61816–61819.

Hochberg L. R. et al. Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm // Nature. 2012. N 485(7398). P. 372–375.

Kaplan A. Y. et al. Unconscious operant conditioning in the paradigm of brain-computer interface based on color perception // Int. J. Neurosci. 2005. N 115(6). P. 781–802.

Kaplan A. Y. et al. Adapting the P300-based brain-computer interface for gaming: a review // IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games, 2013.

Nicolelis M. A. Mind in Motion // Sci. Amer. 2012. N 307. P. 58–63.

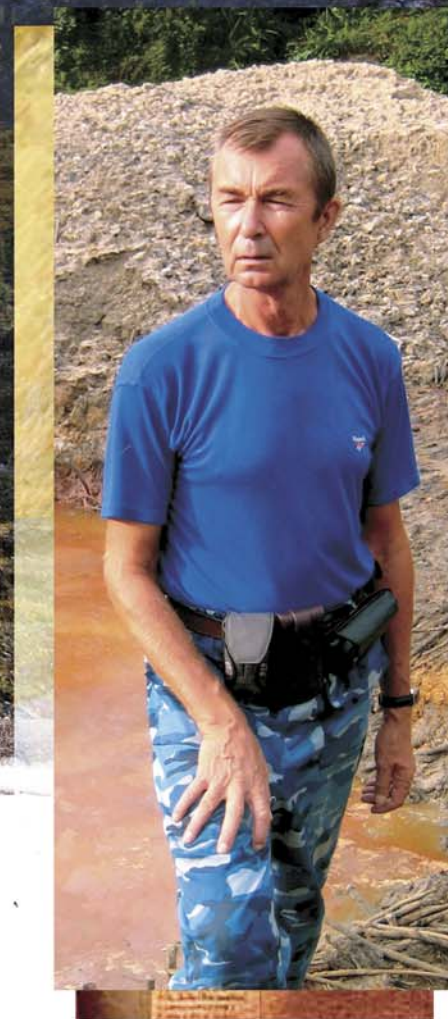
ОКАТАННЫЕ ВРЕМЕНЕМ...

*О происхождении алмазов
СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ*

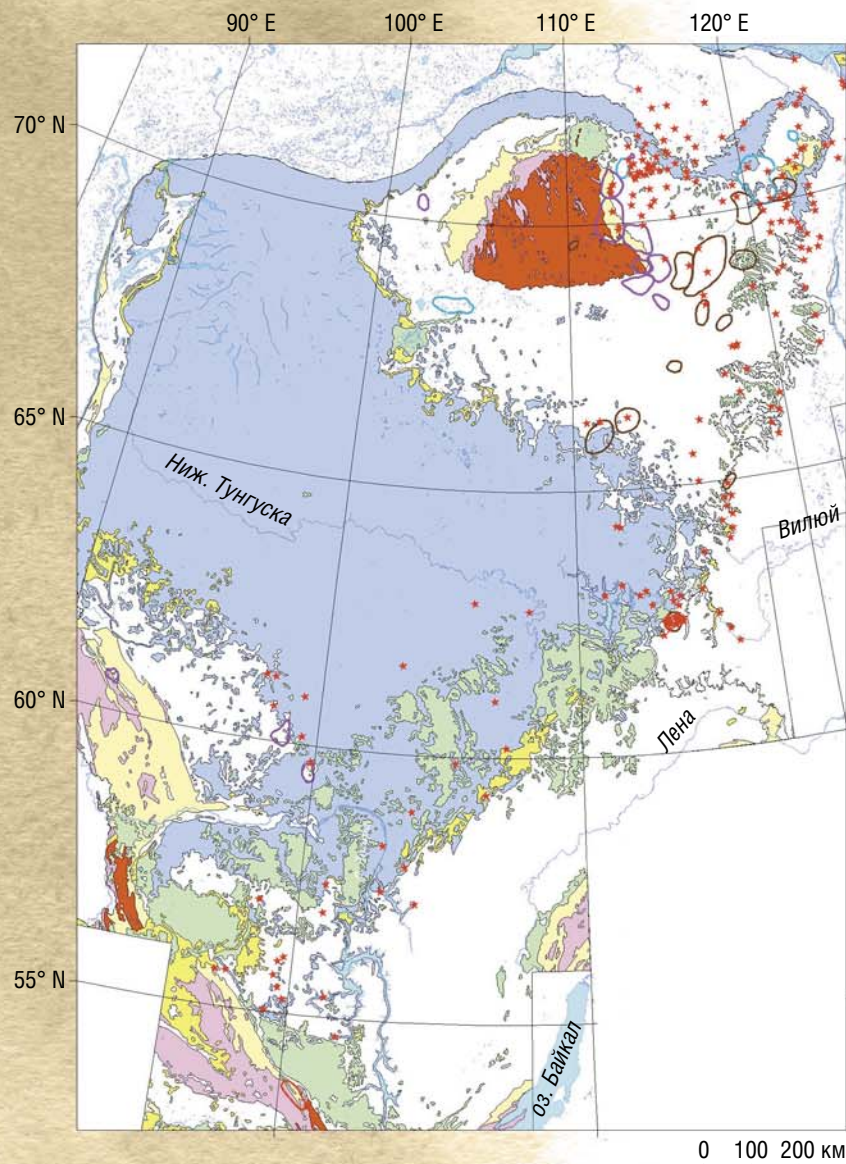
Вид на устье алмазонасной реки Хатыстах, левого притока Лены. Экспедиция «Триасового отряда», север Якутии, 2010 г.

Ключевые слова:
Сибирская платформа, триас, коренные источники, кимберлитовые поля, кимберлиты, пиропы, экзотические алмазы, лампроиты.
Key words: Siberian platform, Triassic, ore bodies, kimberlite fields, kimberlites, pyropes, exotic diamonds, lamproites

В сентябре 2012 г. на якутском месторождении Нюрбинское был найден уникальный бесцветный алмаз весом 158 каратов аукционной стоимостью более 1,5 млн долларов. Именно благодаря сибирским алмазам наша страна сегодня является одним из лидеров этого рынка: на ее долю приходится около четверти всей мировой добычи алмазов. Например, только за один 2011 г. здесь было добыто почти 33 млн каратов (около 7 тонн!) кристаллов ювелирного качества. И алмазный потенциал сибирского региона далеко не исчерпан, но чтобы вести целенаправленный поиск новых месторождений, нужно иметь полную информацию о происхождении этой самой твердой и дорогой модификации углерода. Однако помимо всем известных алмазов, ведущих свое происхождение из кимберлитов, в россыпных месторождениях на территории Сибирской платформы находят необычные кристаллы, для которых тип коренных источников не известен



АФАНАСЬЕВ Валентин Петрович – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 200 научных работ, в том числе 7 монографий



Карта распределения россыпей алмазов, обнаруженных на Сибирской платформе, была создана с использованием базы данных АК «АЛРОСА», подготовленной при участии специалистов новосибирского Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН

- ★ Россыпи алмазов
 - Архей
 - Палеопротерозой
 - Мезопротерозой–Неопротерозой
 - Венд–Силур
 - Девон–Ранний карбон
 - Поздний карбон–Триас
 - Юра–Квартер
- Кимберлитовые поля:
- Протерозойские
 - Среднепалеозойские
 - Раннемезозойские
 - Позднемезозойские

Первые сибирские алмазы были найдены в 1897–1898 гг. в золотоносных россыпях бассейна р. Большой Пит на Енисейском кряже (нынешний Красноярский край), а позднее – и на р. Джеконда (Алданский щит). С учетом этих находок известные российские геологи А. П. Буров, а позднее В. С. Соболев в 1930-х гг. приступили к разработке научных основ поиска коренных источников алмазов на Сибирской платформе.

Обобщив данные по африканским алмазным месторождениям, В. С. Соболев в 1941 г. изложил их в специальном отчете, в котором сделал важнейшее заключение: «Наибольшее сходство с областью распространения кимберлитов Южной Африки имеет Сибирская платформа. <...> Вопросам поисков кимберлитов и алмазов должна уделять серьезное внимание каждая

экспедиция, работающая на севере Сибирской платформы. Особенно нужно обратить внимание на поиски алмазов в разрабатываемых россыпях благородных металлов в районе Норильска и на Виллою» (Соболев, 1989, с. 7). В своем закрытом докладе на Госплане, а затем и в отчете 1941 г. он указал на роль пиропов как индикаторов кимберлитов, отметив, что красный магнезиальный гранат-пироп является типичным спутником алмаза как в кимберлите, так и в россыпях (Соболев, 1951).

В 1941 г. Госплан СССР постановил проводить поисковые работы в северной части Сибирской платформы, однако реализации этих планов помешала война. И лишь спустя восемь лет, в 1949 г. геологической партией Г. Х. Файнштейна на Виллою был найден первый якутский алмаз.



Одним из главных индикаторных минералов кимберлитов является пироп – прозрачный минерал из группы гранатов, как правило, красного цвета. Слева – карьер знаменитой якутской кимберлитовой трубки Мир

СИБИРСКИЙ ПОБРАТИМ АФРИКИ

Известный геолог и писатель-фантаст И. А. Ефремов еще в 1944 г. написал рассказ «Алмазная труба», герой которого искал кимберлитовую трубку на севере Эвенкии. Приведенные ниже цитаты из этого рассказа свидетельствуют о глубококом проникновении автора в суть описываемых им геологических явлений:

«На грубозернистой поверхности скола мелкими каплями сверкали многочисленные кристаллы пироба – красного граната – и чистой зеленью отливали включения оливина» (с. 261)*.

«– Пять лет назад наш директор первый обратил внимание на необычное сходство геологии здешних мест и Южной Африки. Средне-Сибирское и Южно-Африканское плоскогорья обладают поразительно сходным геологическим строением. Там и здесь на поверхность прорвались колоссальные извержения тяжелых глубинных пород. <...> Эти взрывы пробili в толще пород множество узких труб, являющихся месторождением алмазов» (с. 265)*.

«Кроваво-красные кристаллики пироба выступали на пестрой поверхности в смеси с оливковой и голубой зеленью зерен оливина и диопсида...

– Уф! – вздохнул Султанов. – Почти сплошь галька из гриквита. А этот уж не кимберлит ли?» (с. 274)*.

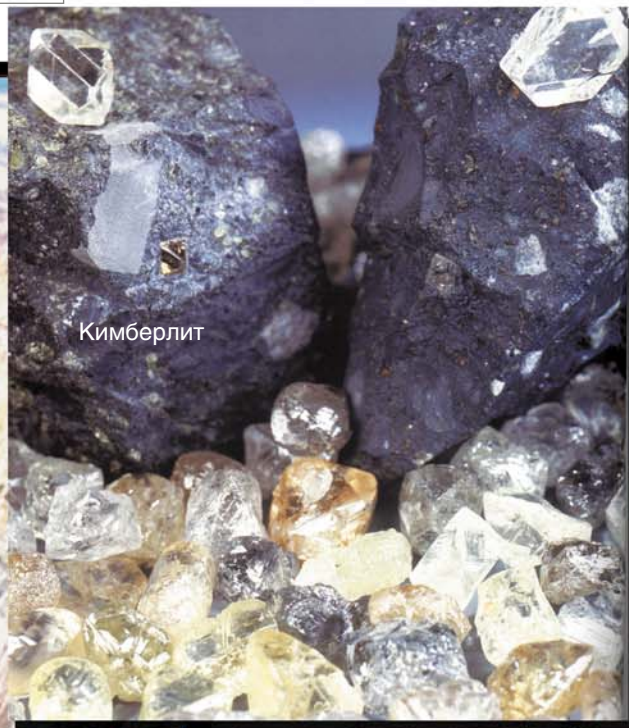
«– Значит, эта рыжая глина и есть „изллоу грунд“ – желтая земля африканских копей, – говорил Чурилин, – самая верхняя и вдобавок всегда обогащенная алмазами покрывка алмазной трубы. Несколькими метрами ниже пойдет „синяя земля“ – „блю грунд“, вот эта самая, черная, куски которой мы нашли в желтой земле <...> Основная заповедь африканских охотников за алмазами: где одна труба, там ищи

еще несколько. <...> На белом листе рассыпались мелкие кристаллы... красного, бурого, черного, голубого, зеленого цветов. Это были сопутствующие алмазу ильменит, пироксен, оливин и другие стойкие минералы. А среди них, подобно кусочкам стекла и все же не сходные с ним своим сильным блеском, выделялись мелкие кристаллы алмазов» (с. 280)*.

Насколько точны эти описания! Удивительно, что при этом в предисловии к изданию Ефремов отмечает, что в своем рассказе он не пытался дать научный прогноз, оставляя за ним статус литературного произведения. «Секрет этого удивительного на первый взгляд прогноза прост: будучи сибирским геологом, я, несколько лет занимаясь тектоникой древних щитов, подыскал геологические условия, очень близкие с африканским щитом, после того, как многие годы изучал Африку. <...> Разумеется, я принял во внимание все известные по тому времени факты...» (с. 9)*.

Следует добавить, что многие из этих фактов он узнал от В. С. Соболева, с которым писатель работал в одном институте и который к тому времени уже обобщил данные по алмазным месторождениям Африки и изложил их в отчете за 1941 г. И хотя имя Ефремова не упоминается, и вполне справедливо, в связи с открытием месторождений алмазов на Сибирской платформе, нужно отдать должное его высочайшему профессионализму как геолога. Так что можно только сожалеть, что судьба не связала выдающегося фантаста с поисками сибирских алмазов.

* Цит. по: (Ефремов. Собрание сочинений в 6 томах. Том 1. М.: Современный писатель, 1993)

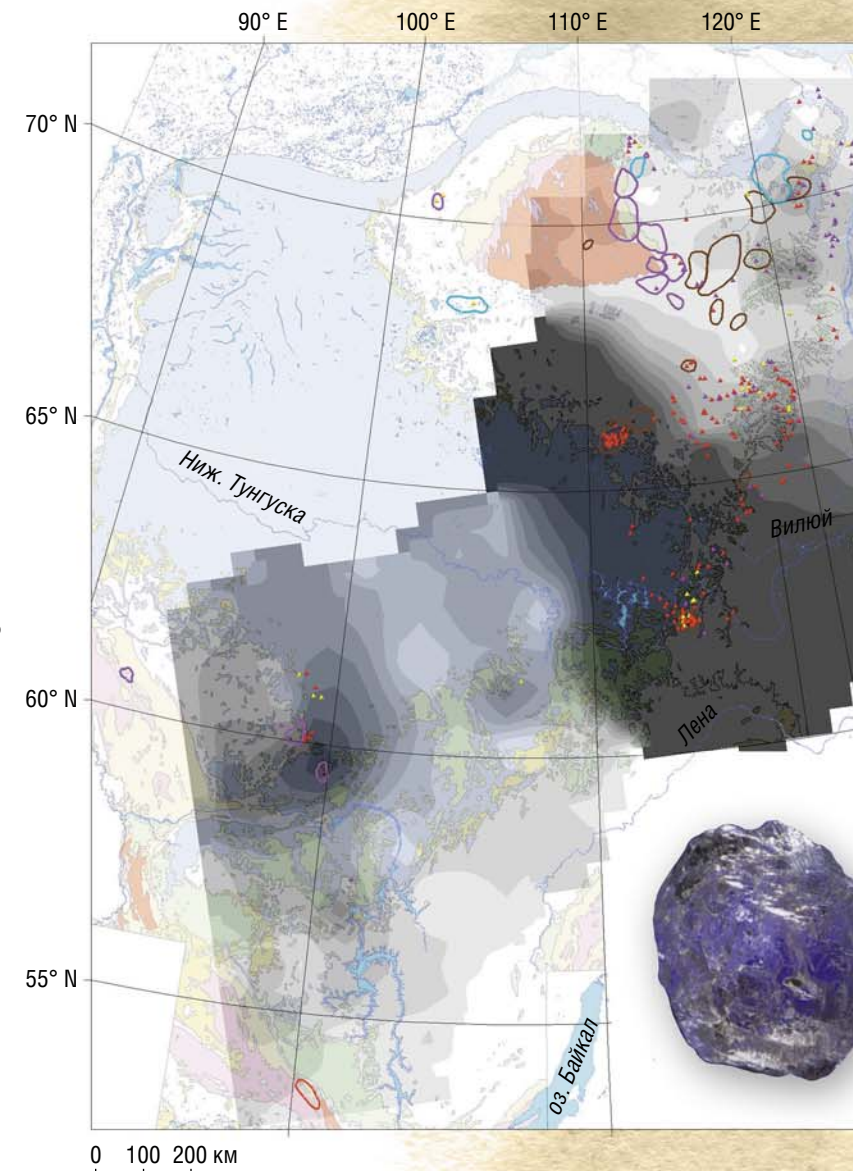


Кимберлит – вулканическая порода порфировой структуры, содержащая глубинные (мантийные) минералы, включая алмаз. На Сибирской платформе – основной промышленный коренной источник алмазов. Слева – карьер якутской кимберлитовой алмазоносной трубки Айхал

КИМБЕРЛИТ, образующийся при вулканическом извержении, содержит смесь глубинных минералов – пирропа, оливина, флогопита, алмаза и др. в матриксе ультраосновных пород. Такие породы характеризуются низким (менее 45 %) содержанием кремнезема

В начале 1950-х гг. ленинградские геологи под руководством А. А. Кухаренко, располагая эталонной коллекцией африканских пирропов, сумели диагностировать красные гранаты из якутских шлиховых проб как пирропы. После этого стало ясно, что их источником, так же как и в Южной Африке, являются кимберлиты. Кухаренко и Н. Н. Сарсадских сформулировали основные положения метода «пирроповой съемки», применяя которую Л. А. Попугаева в августе 1954 г. открыла первую якутскую алмазоносную кимберлитовую трубку Зарница.

Анализ распределения алмазов кимберлитового типа на Сибирской платформе, совмещенного с распределением гранатов алмазной ассоциации (справа) показал, что такие алмазы хотя и встречаются по всей Сибирской платформе, но их максимальная концентрация приходится на центральную ее часть – именно там и располагаются промышленные кимберлитовые поля



Вслед за ней были открыты крупнейшие, эксплуатируемые до сих пор алмазоносные кимберлитовые трубки Удачная, Мир, Сытыканская, Айхал. Казалось бы, вопрос о происхождении сибирских алмазов был решен раз и навсегда: все они генетически связаны с кимберлитами. Однако, как это часто случается в науке, ясность оказалась кажущейся.

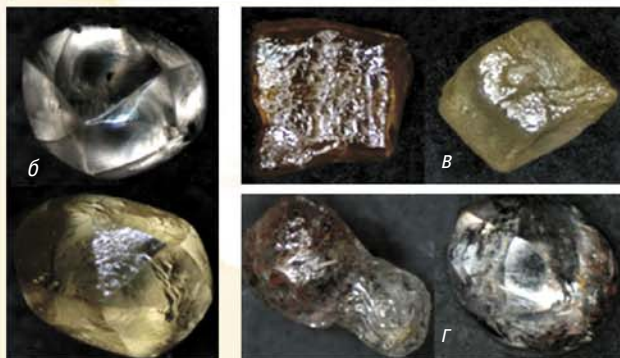
Альтернатива кимберлитам

Нужно отметить, что само признание кимберлитов в качестве источника алмазов не было тривиальным. Ведь еще в 1930-е гг. на Оспинском массиве (Бурятия) алмазы были найдены в коренном залегании совсем другого типа – графитизированных перидотитах.

Поэтому к началу проведения поисковых работ в Якутии тип коренного источника алмазов не был точно установлен.

К сожалению, находка оспинских алмазов так и осталась единственной, а уникальные образцы были утрачены в военные годы. Тем не менее этот факт недвусмысленно указывал на полигенность коренных источников алмазов, однако в то время он не был оценен в должной мере.

Настоящим же потрясением для геологов стало открытие богатейших россыпей алмазов в бассейне р. Анабар на севере Якутии. Геологи начали в этом районе интенсивные поиски кимберлитов, которые увенчались успехом: там было обнаружено свыше 500 кимберлитовых трубок. Однако все они оказались



АЛМАЗЫ БЫВАЮТ РАЗНЫМИ

На территории Сибирской платформы можно выделить пять типов алмазов.

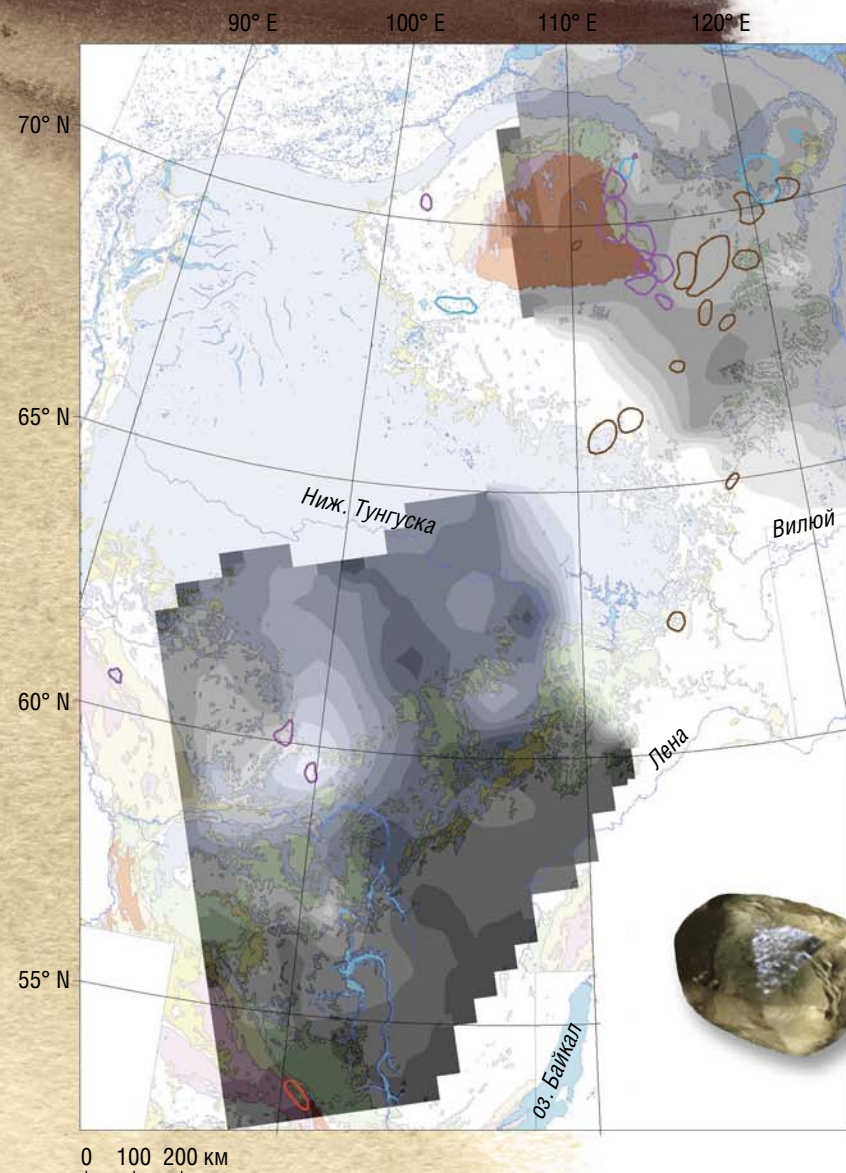
КИМБЕРЛИТОВЫЕ АЛМАЗЫ. Дать общую характеристику этой группе крайне сложно из-за их разнообразия, но в целом для нее характерно резкое преобладание бесцветных кристаллов октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитуса с «ламинарным» (слоистым) строением граней, образующих непрерывный морфологический ряд. В группе преобладают алмазы из ультраосновных пород, с изотопным составом углерода, соответствующим мантии. **АЛМАЗЫ** предположительно **ЛАМПРОИТОВОГО ГЕНЕЗИСА.** Группа включает округлые скрытоламинарные (т. е. без выраженных слоев роста на поверхности) прозрачные алмазы додекаэдрического габитуса. Кристаллы обычно имеют признаки повышенного механического износа. Такие алмазы широко распространены в алмазоносных провинциях мира, доминируя, как правило, в осадочных коллекторах докембрийского возраста. Они встречаются в россыпях Бразилии, Южной Африки, Австралии и многих других регионов (Соболев, 1951; Метелкина и др., 1976). На территории Сибирской платформы распространены повсеместно, хотя и не равномерно.

ИМПАКТНЫЕ АЛМАЗЫ. В группу входят «якутиты» – микросталлические образования в виде бесформенных, нередко пластинчатых зерен, внешним видом напоминающие шлак. Якутиты обнаруживают полное сходство с алмазами Попигайской астроблемы (Вишневский и др., 1997). В их структуре присутствует лонсдейлитовая фаза – высокобарическая гексагональная модификация углерода, характерная для алмазов из метеоритных кратеров.

АЛМАЗЫ ИЗ НЕИЗВЕСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ – желто-оранжевые и зеленые кубоиды с «промежуточным» (между коровым и мантийным) изотопным углеродным составом. Для кристаллов характерен повышенный механический износ.

АЛМАЗЫ ИЗ НЕИЗВЕСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ – очень специфические кристаллы темного цвета. Представлены октаэдридами (редко) или их сростками, и часто – додекаэдридами как формами магматического растворения. Кристаллы переполнены черными хлопьевидными включениями графита, выделенного по стенкам вакуолей. Для алмазов характерен повышенный механический износ, вплоть до полной овализации. Встречаются в изобилии только в россыпях на северо-востоке Сибирской платформы и не известны в других алмазоносных регионах мира, что предполагает эндемичный характер коренного источника

Основные типы алмазов Сибирской платформы:
 а – кимберлитовые алмазы из кимберлитовой трубки Юбилейная (Якутия);
 б – алмазы предположительно лампроитового генезиса;
 в – кубоиды из источников неизвестного типа;
 г – кристаллы с черными хлопьевидными включениями из источников неизвестного типа;
 д – импактные алмазы («якутиты») из Попигайской астроблемы (Якутия)



Распределение алмазов предположительно лампроитового происхождения на Сибирской платформе альтернативно распределению кимберлитовых алмазов, т. е. эти алмазы ведут себя как антагонисты. Додекаэдриды реже всего встречаются в центральной части Сибирской платформы (там, где расположены продуктивные среднепалеозойские кимберлиты). Их максимум приходится на Иркутскую область, с постепенным затуханием к северу. Такие алмазы часто встречаются и на северо-востоке платформы, особенно в районе Анабарского щита и Оленекского поднятия

Доля «лампроитовых» алмазов в алмазной ассоциации (от максимума по Сибирской платформе)

- Архей
- Палеопротерозой
- Мезопротерозой–Неопротерозой
- Венд–Силур
- Девон–Ранний карбон
- Поздний карбон–Триас
- Юра–Квартер

- Кимберлитовые поля:
- Протерозойские
 - Среднепалеозойские
 - Раннемезозойские
 - Позднемезозойские

либо не алмазоносными, либо с крайне малым содержанием алмазов: такие «бедные» кимберлиты, очевидно, не могли обеспечить высокую алмазоносность россыпей, что подтверждалось и анализом состава индикаторных минералов из россыпей, проведенным на основе минералогических критериев алмазоносности, разработанных Н. В. Соболевым.

Так появились сомнения в том, что кимберлиты были единственным коренным источником якутских алмазов. К тому же в алмазоносных россыпях северо-востока Якутии оказались широко распространены

так называемые *экзотические алмазы*, которые либо полностью отсутствовали в известных кимберлитовых телах, либо встречались там в неизмеримо меньших количествах, чем в россыпях.

Что же служило коренным источником таких алмазов? Если допустить, что мы имеем дело с очень специфическими кимберлитами, то почему им удается так долго ускользать от геологов, тогда как обычные кимберлиты целыми полями встречаются по всему северу Якутии? Если же эти источники не имеют никакого отношения к кимберлитам, то становится



Алмазоносный базальный горизонт карнийского яруса представляет собой тонкий (10–20 см) слой конгломератов или гравелитов, залегающий между слоями песчаников. Чтобы отобрать представительную пробу, приходится прилагать немалые усилия. Экспедиция «Триасового отряда», север Якутии, 2010 г.

невозможным корректно формулировать поисковую задачу и целенаправленно вести поиск этих месторождений.

Технологию поисков и саму вероятность найти месторождения алмазов определяет и другая важнейшая информация – возраст коренных источников. При поиске алмазов геологи встречаются с альтернативой: либо породы, вмещающие источники алмазов, экспонированы на дневной поверхности (что наиболее благоприятно для поисков), либо они перекрыты более молодыми осадочными или магматическими образованиями. В последнем случае приходится выполнять огромные объемы бурения и применять для обнаружения источников алмазов геофизические методы. Однако такой «глубокий» поиск гораздо менее эффективен, а в случае, когда мощность перекрытия составляет сотни метров, – технически неосуществим или экономически нецелесообразен.

Как известно, для Сибирской платформы выявлены три эпохи кимберлитового магматизма: среднепалео-

зойская (девон), триасовая и юрско-меловая. Наиболее ранняя эпоха характеризуется и наибольшей алмазоносностью. Среднепалеозойские кимберлиты могут быть либо экспонированы на дневной поверхности (именно к ним относятся все известные промышленные месторождения), либо перекрыты более молодыми осадками, начиная с раннего карбона.

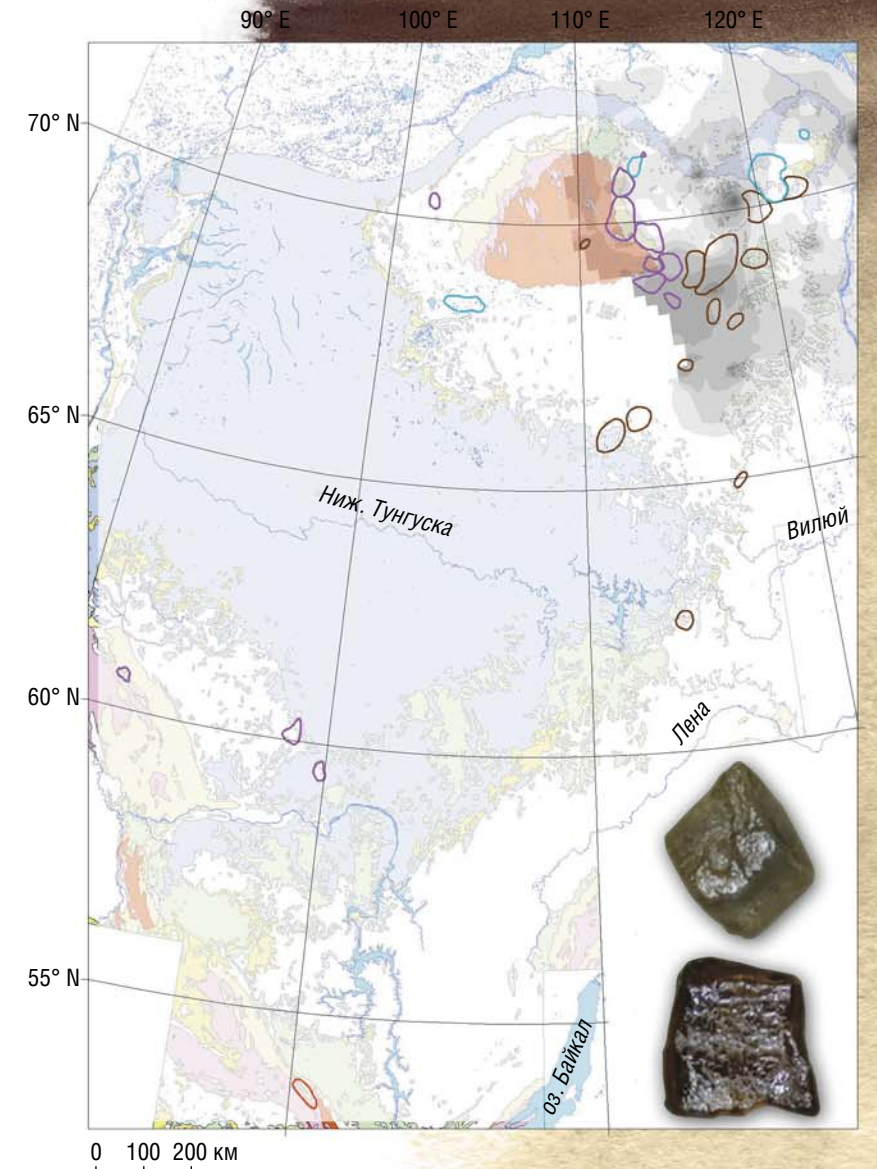
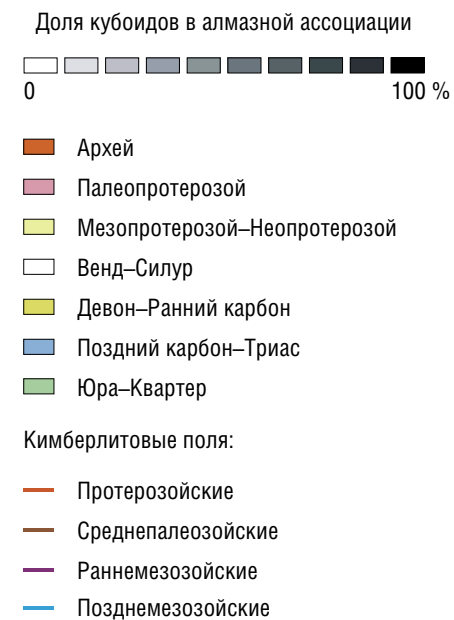
Но если северные экзотические алмазы происходят не из кимберлитов, то каков возраст их источников? Ведь нет более опасной ошибки для геолога при поисках коренных месторождений, чем «замолодить» их.

Разные лица алмаза

Всего среди сибирских алмазов выделяют пять типовых групп. Во-первых, это кимберлитовые алмазы, среди которых преобладают бесцветные октаэдрические или ромбододекаэдрические кристаллы.

Еще одной очень специфической группой являются импактные алмазы, так называемые *якутиты*,

Алмазы в виде кубоидов распространены главным образом на северо-востоке Сибирской платформы. В их распределении нет четких закономерностей, выделяются лишь две контрастные локальные аномалии. Небольшое количество кубоидов встречается и в других местах Сибирской платформы, но там они никогда не определяют характер алмазных ассоциаций



характерной чертой которых является присутствие особо твердой фазы углерода. Происхождение этих алмазов связано с образованием Попигаевского метеоритного кратера.

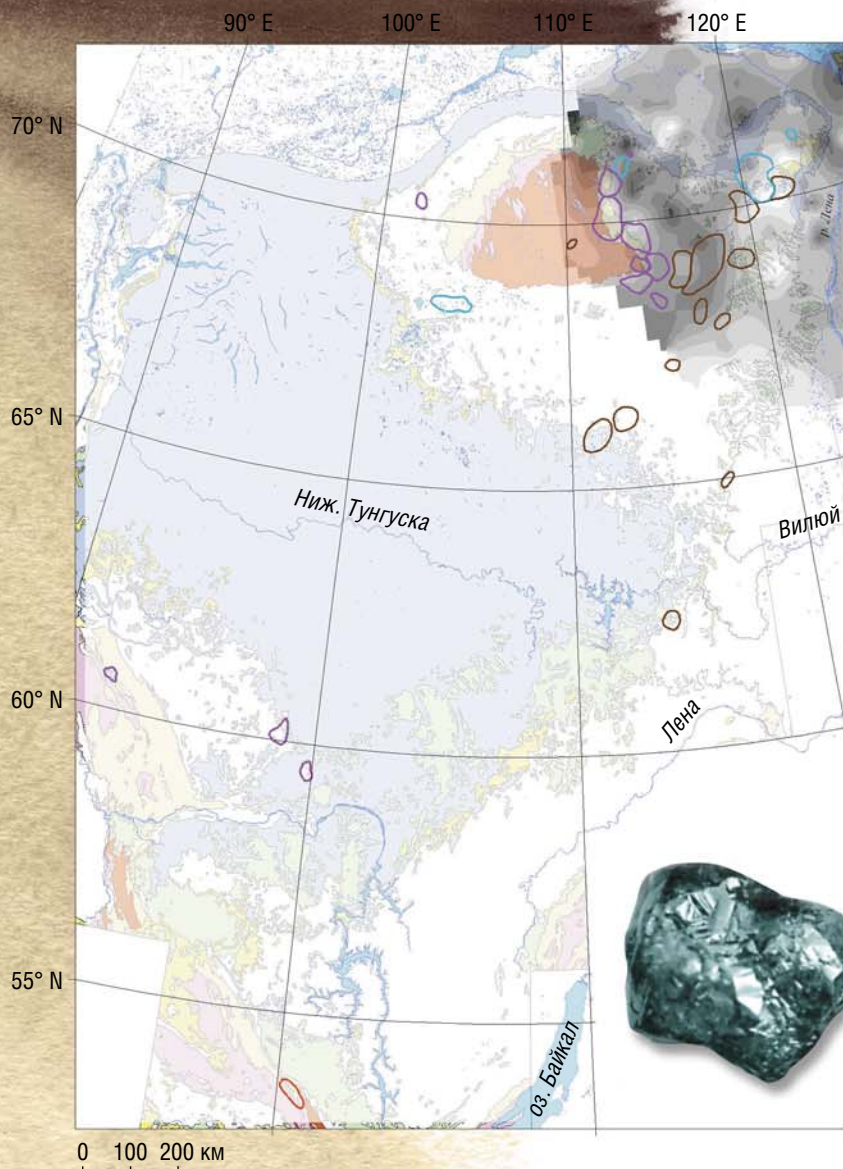
Коренные источники оставшихся трех групп алмазов точно не установлены. К первой такой группе относятся алмазы додекаэдрического габитуса. Как правило, эти кристаллы несут признаки повышенного механического износа, что указывает на прибрежно-морские условия формирования их россыпей. Хотя такие алмазы встречаются и в кимберлитовых телах, но там их доля не превышает 20–25 %, а в кимберлитах с повышенной алмазоносностью – 10 % и менее.

Наиболее загадочными являются последние две группы алмазов. Во-первых, это желто-оранжевые и зеленые кубоиды, часто встречающиеся в россыпях

северо-востока Сибирской платформы. В кимберлитах они либо отсутствуют, либо присутствуют в небольших (доли процента) количествах.

И, во-вторых, необычные, довольно крупные алмазы октаэдрического или додекаэдрического габитуса с крайне дефектной кристаллической структурой, переполненные черными хлопьевидными включениями. Эти уникальные алмазы обнаружены только на северо-востоке Сибирской платформы, где они местами составляют до половины и более алмазной «продукции» россыпей, что свидетельствует о масштабности и высокой алмазоносности их коренных источников. В сравнении с другими эти алмазы выделяются и повышенным механическим износом.

Оценить частоту встречаемости и обилие различных групп алмазов на территории Сибирской платформы



Уникальные алмазы с черными хлопьевидными включениями встречаются только на северо-востоке Сибирской платформы, где они формируют ряд локальных аномалий по восточному обрамлению Анабарского щита, в районе Оленекского поднятия. Южнее р. Муна эти алмазы практически не встречаются

Доля алмазов с черными включениями в алмазной ассоциации (от максимума по Сибирской платформе)

0 100 %

- Архей
- Палеопротерозой
- Мезопротерозой–Неопротерозой
- Венд–Силур
- Девон–Ранний карбон
- Поздний карбон–Триас
- Юра–Квартер

- Кимберлитовые поля:
- Протерозойские
 - Среднепалеозойские
 - Раннемезозойские
 - Позднемезозойские

удалось с использованием базы данных АК «АЛРОСА», созданной при участии специалистов новосибирского Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Афанасьев и др., 2011). Следует отметить, что алмазоносность этого региона исследовалась крайне неравномерно и в разные периоды времени (начиная с конца 1940-х гг. и до наших дней), причем во многих точках исследование было однократным; очень слабо оказались изученными Красноярский край и Иркутская область. Тем не менее созданные в результате этих работ карты достаточно полно отражают степень изученности алмазоносности Сибирской платформы по состоянию на сегодняшний день.

Картирование показало, что хотя алмазы встречаются на территории всей платформы, их максимальные кон-

центрации приурочены к ее центральной части – там, где расположены промышленные кимберлитовые поля. Как известно, именно кимберлиты являются на Сибирской платформе основным известным коренным источником алмазов, а их алмазоносность коррелирует с наличием гранатов алмазной ассоциации (Соболев, 1971). На карте, показывающей распределения этих минералов-индикаторов по россыпям Сибирской платформы, видно, что оно хорошо согласуется с распределением алмазов лишь кимберлитового типа.

Этот факт свидетельствует о наличии иных, возможно некимберлитовых, источников алмазов. В качестве одного из них может выступать *лампроит* – магматическая порода, которая также формирует трубки взрыва, аналогичные кимберлитовым. По аналогии



Этот предельно окатанный алмаз с черными включениями из неизвестного типа источника был обнаружен на северо-востоке Сибирской платформы, в россыпи на р. Эбелях. Электронно-микроскопический снимок

с известными лампроитами трубки Маджгаван (Индия) и лампроитов Ингашинского поля (Восточные Саяны) можно предположить, что коренным источником округлых додекаэдрических кристаллов из россыпей служат лампроитовые тела.

Однако для оставшихся двух групп алмазов вопрос об их коренных источниках остается открытым. Нужно учесть, что эти алмазы имеют облегченный изотопный состав углерода, что свидетельствует об участии в их образовании углерода коры. А такой углерод может попасть в верхнюю мантию, где и растут алмазы, лишь путем *субдукции*, т.е. в результате продвижения океанической коры под литосферу континентов. Этот процесс приводит к появлению разных магматических расплавов на разных глубинах, поэтому предсказать тип магматической породы, которая вынесет алмазы на поверхность, крайне сложно.

Следы ведут в докембрий

Но одним из самых интригующих вопросов происхождения экзотических алмазов по-прежнему остается их возраст. Экзотические алмазы начинают встречаться в смеси с типичными кимберлитовыми алмазами в осадочных породах позднего триаса (карнийский ярус, 229–216 млн лет назад). Отсюда следует, казалось бы, естественное для любого геолога предположение, что и коренные источники всех этих алмазов тоже карнийского возраста, а присутствие индикаторных минералов кимберлитов (пиропов, пикроильменитов и хромитов) указывает на их кимберлитовый характер. Однако выходы этого триасового *коллектора* («собира-



Крупным (свыше 50 каратов) алмазам ювелирного качества принято давать собственные имена. На фото – якутские кимберлитовые алмазы «Сулус Таас» (104,05 карата) и «Олонхо» (150,85 карата)

теля») алмазов тянутся вдоль северо-восточной окраины Сибирской платформы лишь узкой полосой, тогда как сами экзотические алмазы встречаются на площади более 400 тыс. км².

Один из важнейших фактов, указывающий на возраст экзотических алмазов, – их повышенный механический износ, от слабого до предельного, т.е. до полной



На промывочном лотке – шлиховая проба с кимберлитовыми пиропами и пикроильменитами. Такой лоток делается из цельного куска дерева. Несмотря на свою видимую архаичность, он работает не хуже обогащательной фабрики: содержание минеральной фракции в шлихе увеличивается до 30 тыс. раз! *Экспедиция «Триасового отряда», север Якутии, 2010 г.*

овализации. Иногда такие кристаллы полностью лишены огранки и по форме напоминают картофелину. При этом сопутствующие кимберлитовые алмазы либо совсем не окатаны, либо имеют лишь слабые признаки износа, к тому же всегда сопровождаются соответствующими минералами-индикаторами: на более молодых коллекторах (например, в районе трубки Мир в Мало-Ботуобинском алмазоносном районе) это практически неокатанные алмазы с полным набором индикаторных минералов, а в древних прибрежно-морских коллекторах (например, в Тарыдакской россыпи в Красноярском крае и др.) – слабо окатанные алмазы и сильно окатанные пиропы.

Экспериментальные исследования механического износа алмазов разных типов, включая экзотические, и индикаторных минералов кимберлитов показали, что слабые, хотя и заметные признаки износа на алмазах появляются лишь тогда, когда пикроильмениты уничтожаются полностью, а пиропы окатываются до шариков, теряя около 60 % исходного веса. По достижении более высокой степени износа алмазов все минералы-индикаторы, включая пиропы, буквально рассыпаются в прах.

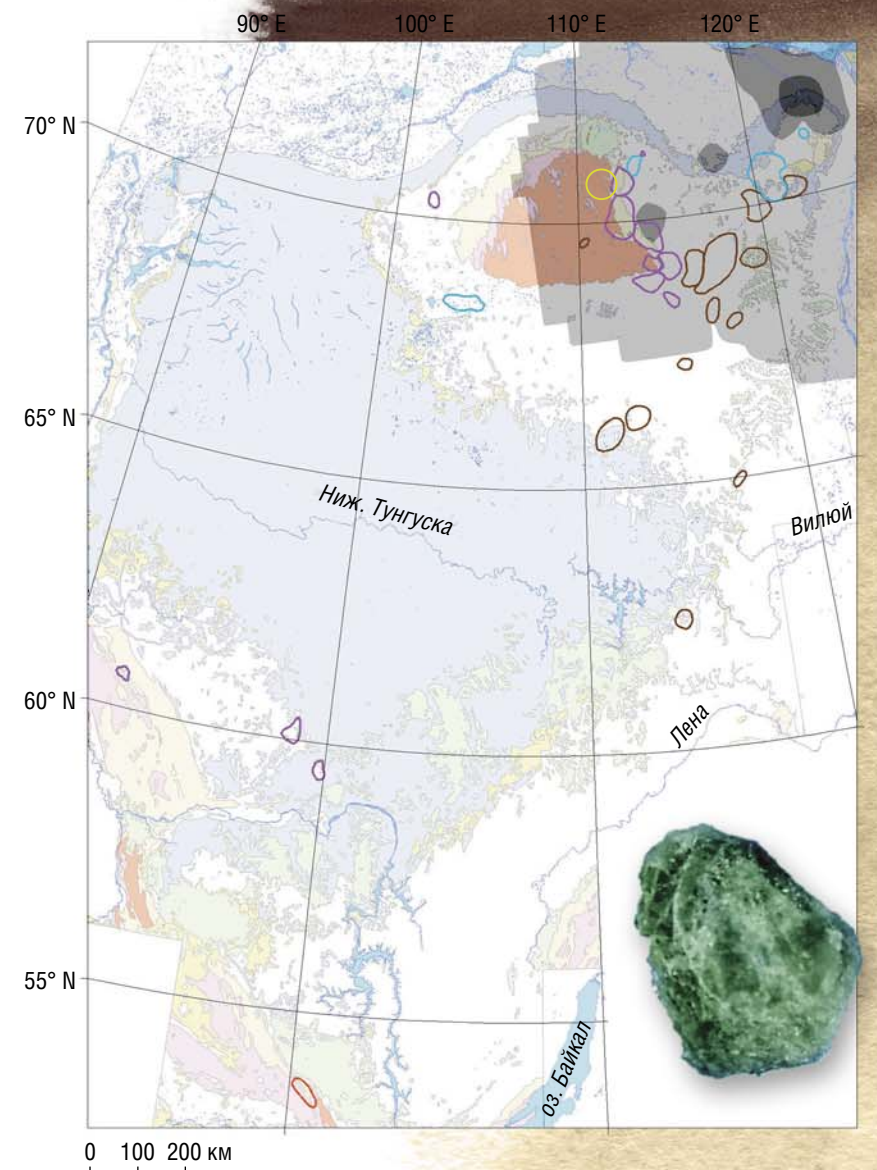
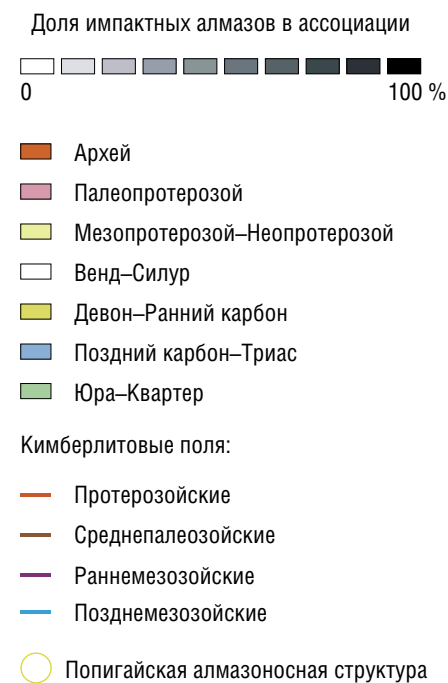
Высокая степень окатанности экзотических алмазов недвусмысленно свидетельствует, что их индикаторные минералы, какова бы ни была их минеральная принадлежность, были уничтожены полностью. Следовательно, кимберлитовые минералы, сопутствующие в россыпях экзотическим алмазам на северо-востоке Сибирской платформы, являются лишь их гидравлическими «попутчиками», а генетически связаны лишь с кимберлитовыми алмазами.

Но если кимберлитовые алмазы, известные с девона, не сумели заметно «износиться» за 360 млн лет, то как это удалось экзотическим алмазам? При анализе истории осадконакопления на Сибирской платформе становится ясно, что на протяжении всего фанерозоя, начавшегося около 550 млн лет назад, не было условий, времени и места для такого повышенного износа алмазов. Но эти условия существовали в допалеозойское время, когда россыпи формировались на морских побережьях на жестком ложе твердых метаморфических пород и в такой же твердой обломочной среде. Этот вывод подтверждается исследованиями алмазов из допалеозойских россыпей по всему миру.

И тогда возникает вопрос: каким образом алмазы из допалеозойских россыпей могли попасть в триасовые отложения, лежащие на поверхности палеозойских отложений?

Объяснение кроется в том, что именно с триаса на северо-востоке Сибирской платформы началось интенсивное вздымание участков земной коры с формированием Анабарской антеклизы и Оленекского поднятия. В границах этих поднятий был размыв осадочный палеозойский чехол и обнажились более древние метаморфические породы архея и протерозоя, на которых, возможно, и залегали древние алмазоносные россыпи. При размыве этих россыпей алмазы, перемещаясь

Яркая аномалия в распределении импактных алмазов на Сибирской платформе, зафиксированная для нижнего течения Лены, свидетельствует не столько о больших скоплениях этих алмазов, сколько об отсутствии здесь кристаллов других типов. Максимальное расстояние от мест нахождения якутитов до их коренного источника – Попигайского кратера, превышает 500 км



вместе с обломочным материалом, легли у подножия поднятий, где формировались уже мезозойские отложения.

На близость находок экзотических алмазов, в частности додекаэдров, к выходам метаморфических пород еще несколько десятилетий назад обратили внимание московские геологи (Метелкина и др., 1976). Этот факт также свидетельствует в пользу гипотезы о происхождении их из допалеозойских россыпей.

Две гипотезы

Итак, согласно предложенной выше гипотезе, экзотические алмазы происходят из допалеозойских (геологи чаще говорят – докембрийских) россыпей. Соответственно, возраст коренных источников также

должен быть докембрийским, и найти их можно лишь на *щитах* (обнажившихся участках платформы), которые представляют собой выступы метаморфических пород докембрия – искать их под мощным чехлом нижнепалеозойских карбонатных отложений практически невозможно.

Учитывая количество экзотических алмазов в россыпях, резонно предположить, что эти источники, с одной стороны, характеризовались высокой алмазностью и большими размерами; с другой стороны, они должны были подвергнуться масштабной эрозии. Поэтому, вероятно, от них остались лишь незначительные по площади выходы коренных пород, найти которые, особенно при полном отсутствии сведений об их индикаторных характеристиках, крайне сложно. Да, по большому счету, и не нужно: исходя из прагматических соображений,



в данном случае наиболее целесообразно ограничиться поиском алмазных россыпей и не искать коренные источники.

Предложенная гипотеза в максимальной степени учитывает все известные на сегодняшний день факты. Стоит добавить, что в мире сейчас известно довольно много некимберлитовых источников алмазов: коматииты Французской Гвианы, лампрофиры Канады, филлиты Бразилии и др., причем все они относятся к докембрийскому периоду. Кстати сказать, хотя в фанерозое алмазоносный магматизм был представлен практически только кимберлитами, имеются и докембрийские кимберлиты, например, южно-африканская трубка Премьер, где был найден самый знаменитый алмаз «Куллинан».

Несмотря на все эти доводы, некоторые геологи по-прежнему придерживаются взглядов о триасовом возрасте коренных источников. В последнее время появились сведения о находках магматического материала в карнийском коллекторе (Граханов и др., 2010), что дало основания гово-

Река Булкур – левый приток реки Лена.

Справа – алмазы разного цвета из кимберлитов Якутии.

В публикации использованы фотографии из архива автора, К. Аргунова, Е. Николенко (ИГМ СО РАН, Новосибирск) и Министерства финансов Республики Саха (Якутия)

Литература

Афанасьев В.П. Родословная кристаллического углерода. // НАУКА из первых рук. 2009. № 3(27). С. 71–83.

Соболев В.С. Избранные труды: Петрология верхней мантии и происхождение алмазов. Новосибирск: Наука, 1989. 252 с.

Соболев В.С. Геология месторождений алмазов Африки, Австралии, острова Борнео и Северной Америки. М.: Госгеолиздат, 1951. 126 с.



рить о существовании алмазоносного карнийского магматизма. В рамках этого подхода карнийские морские отложения с их комплексом алмазов и минералов-индикаторов (при этом достоверно кимберлитовых по происхождению!) предложено называть *туффитами*. К сожалению, эта «туффитовая гипотеза» строится на ограниченном материале только триасового коллектора и не учитывает характер алмазов и алмазоносности всего северо-востока Сибирской платформы. В том числе она не может объяснить происхождение одной из групп экзотических алмазов, а именно – округлых додекаэдровидов, широко встречающихся на Сибирской платформе, в частности, в Восточном Саяне с его выходами докембрия.

«**Д**окембрийскую» гипотезу происхождения экзотических алмазов северо-востока Сибирской платформы можно проверить путем специализированного опробования верхнепалеозойских прибрежно-морских конгломератов, залегающих на метаморфических породах в основании кембрийских выходов на Анабарском щите. К сожалению, получить финансирование на такие работы крайне сложно, хотя на них требуются значительно меньшие средства, чем на бесперспективные поиски «молодых» источников экзотических алмазов.

Пока же новосибирские геологи из ИГМ СО РАН совместно с отрядом Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья провели полевое исследование триасового коллектора алмазов в рамках большого проекта Федерального агентства по недропользованию. Осадочная природа карнийского коллектора с его обилием ископаемой флоры и фауны была подтверждена в очередной раз, но в нем также удалось обнаружить и исследовать магматический материал. Природа его пока неясна: не исключено, что речь идет об обломочном материале, попавшем туда из размытых нижнетриасовых отложений. В любом случае связь этих образцов с алмазами маловероятна.

На сегодняшний день у ученых скопилось больше вопросов, чем ответов: им приходится, как криминалистам, собирать информацию по крохам. Дискуссия, как и сами исследования, продолжается: ведь все гипотезы, как и экзотические алмазы, должны пройти обязательную «обкатку» временем.

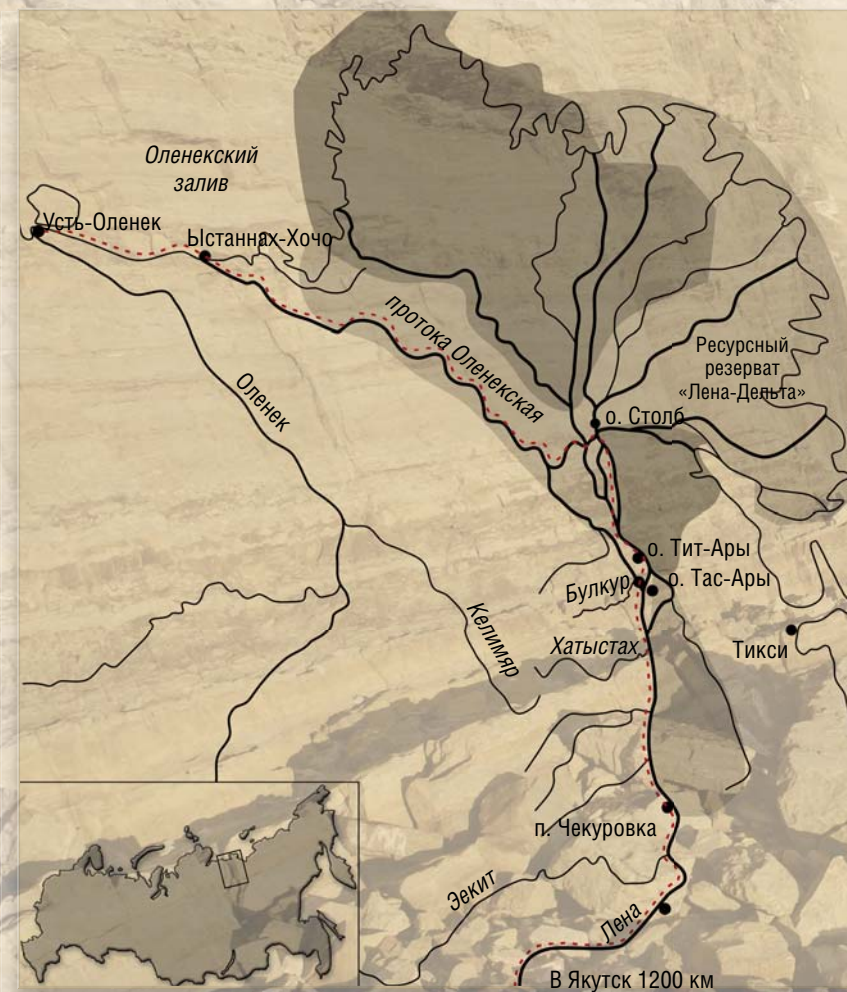
В поисках ТРИАСА

Фоторепортаж

Е. И. НИКОЛЕНКО

Для плавания по Лене был арендован теплоход «Капитан Горовацкий», который представлял собой, по сути, немного модернизированный речной трамвай, не предназначенный для путешествий по морю. Слева – устье Лены, дельта которой одна из самых больших в мире. На горизонте виден о. Столб

В 2010 г. в рамках проекта с Федеральным агентством по недропользованию был организован экспедиционный отряд, цель которого состояла в изучении древних, сформировавшихся в триасовом периоде алмазоносных осадочных пород на крайнем севере Якутии



НИКОЛЕНКО Евгений Игоревич – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 23 научных работ

Маршрут экспедиционного отряда «Триасовый»

За два с небольшим месяца экспедиционный геологический отряд прошел водным путем свыше 3,5 тыс. км, не считая пеших маршрутов

В состав «Триасового отряда» вошли десять специалистов в области минералогии алмаза и поисков алмазных месторождений, стратиграфии и палеонтологии. Район исследования – Булунский улус Республики Саха, расположенный на севере Якутии, за Полярным кругом. Основные работы предполагалось выполнить на территории, охватывающей нижнее течение р. Лена (ниже пос. Чекуровка), Оленекскую протоку дельты Лены, приустьевую часть р. Оленек и Оленекский залив моря Лаптевых.

Ключевые слова: река Лена, алмазы, пиропы, разведка, экспедиция, триас.
Key words: Lena river, diamonds, pyrope, exploration, expedition, Triassic

© Е. И. Николенко, 2013



Вид на реку Булкур в 7 км от ее устья с Булкурской антиклинали. Этот величественный пейзаж сформировался в результате воздействия двух великих сил природы: осадочные породы, смятые в складки в результате тектонических процессов, были подвергнуты эрозии

Местный ландшафт – это тундра, где господствуют пронизывающие северные ветра. Теплая куртка и сапоги самая подходящая одежда для середины лета в этих широтах



Местная природа оживает лишь на несколько месяцев в году

58 **Ответственным исполнителем экспедиционных работ «Триасового отряда» выступил Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск). В состав отряда, помимо сотрудников ИГМ, вошли также специалисты Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (Якутск) и Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья (Новосибирск). Руководителем был назначен к.г.-м.н. И.В. Будников, заместитель директора СНИИГГиМС и председатель Межведомственной стратиграфической комиссии**

Цель работы, говоря формальным языком геологического задания, заключалась в выявлении закономерностей пространственно-временной локализации рудоносных осадочных горизонтов севера Якутской алмазонасной провинции. Иначе говоря, перед отрядом стояло несколько основных задач: изучить послойно опорные разрезы верхнекаменноугольных, пермских, триасовых и юрских отложений; провести палеонтологические исследования для определения точных границ слоев, сформировавшихся в различные периоды, и уточнения соответствующих временных шкал. Также предстояло отобрать пробы пород с опорных разрезов

и обнажений рудоносных горизонтов верхнепалеозойского и нижнемезозойского возраста и провести шливовое опробование водотоков в бассейнах Лены и Оленька. Минералогической группе ИГМ СО РАН из трех человек предстояло опробовать осадочные горизонты на алмазы и индикаторные минералы кимберлитов.

Для передвижения по Лене был арендован теплоход «Капитан Горовацкий», а работа по речным притокам должна была осуществляться пешими маршрутами или на надувных моторных лодках.



60

Для отбора проб из тонкого алмазоносного базального горизонта карнийского яруса, залегающего между слоями песчаников, требуется один из главных «научных» инструментов геолога – кайло

Взятые из триасового коллектора пробы промывали, чтобы удалить легкие минеральные фракции

Якутск–Тумул

Экспедиция «Триасового отряда» стартовала из Якутска 13 июля 2010 г. Раньше выехать не удалось: этому воспрепятствовали позднее начало навигации, характерное для северных широт, и ряд неизбежных в таких случаях бюрократических проблем.

До первой точки высадки пароход шел три дня, в которые путешественникам пришлось заниматься рутинной, но необходимой работой: проверкой и подготовкой снаряжения, уточнением планов работ и т. п.

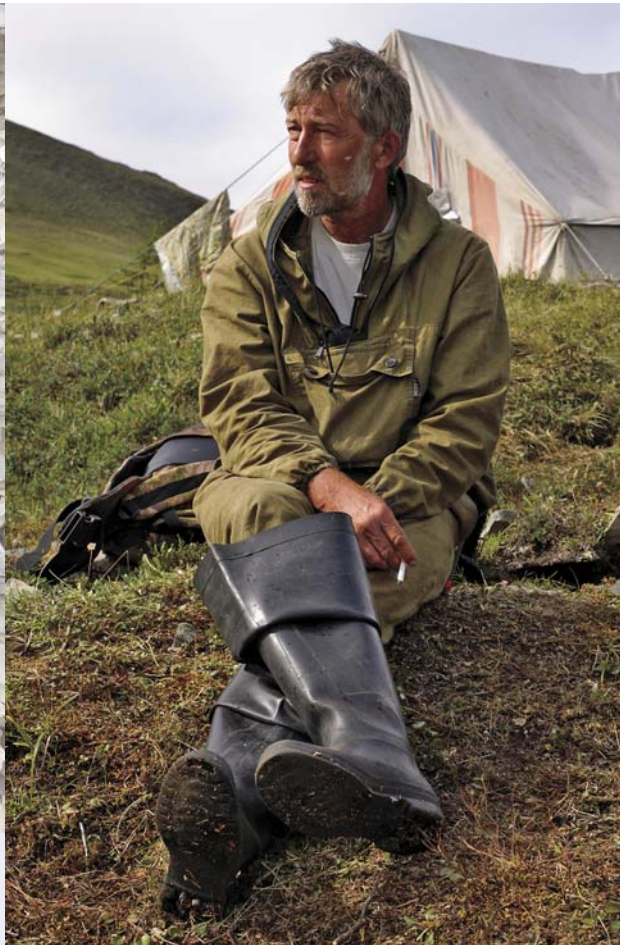
Первые рабочие маршруты должны были пройти по территориям с наиболее суровыми климатическими условиям – по р. Булкур, низовью р. Оленек и Оленекскому заливу.

15 июля отряд высадился в пос. Тит-Ары, в 15 км ниже устья р. Булкур. С помощью местного населения вместе со всем снаряжением добрались до места работ, расположенного примерно в 7 км от устья.

Проводить полевые исследования в этих широтах непросто: местный ландшафт – это тундра, которую оживляет лишь карликовая березка да кустарники в оврагах вблизи воды. Поэтому здесь всегда есть проблема с топливом, необходимым для обогрева и приготовления пищи. В качестве же транспорта у местных жителей используются снегоходы – и зимой, и, что интереснее всего, летом. Для ненадежной тундровой почвы такой гусеничный транспорт подходит лучше всего. 27 июля отряд покинул временную стоянку и на теплоходе отправился к мысу Ыстанах-Хочо в устье Оленекской протоки, куда и прибыл через три дня.

На мысе расположен одноименный поселок промысловиков, вернее то, что от него осталось: по непроверенным данным, он был разрушен еще в конце 1980-х гг. нагонной волной. По крайней мере, судя по описанию путешественника Е. Смургиса, в 1988 г. поселок еще существовал и насчитывал около двух десятков домов.

61



Здесь экспедиция задержалась на полмесяца для исследования большого и самого сложного участка маршрута – от Лены до Оленька. От мыса Ыстаннах-Хочо вдоль побережья Оленекского залива отряд на лодках прошел около 65 км от мыса Тумул до устья Оленька. Места эти поражают необычной чистотой воздуха – здесь нет дымки, привычной жителям более населенных мест, поэтому детали ландшафта и облака хорошо видны даже на больших расстояниях.

В этих исторических местах, вблизи пос. Усть-Оленек, находится могила известного русского путешественника, участника Великой Северной экспедиции В. В. Прончищева и его жены, Т. Ф. Прончищевой, первой в истории женщины-полярника.

Вниз по Лене

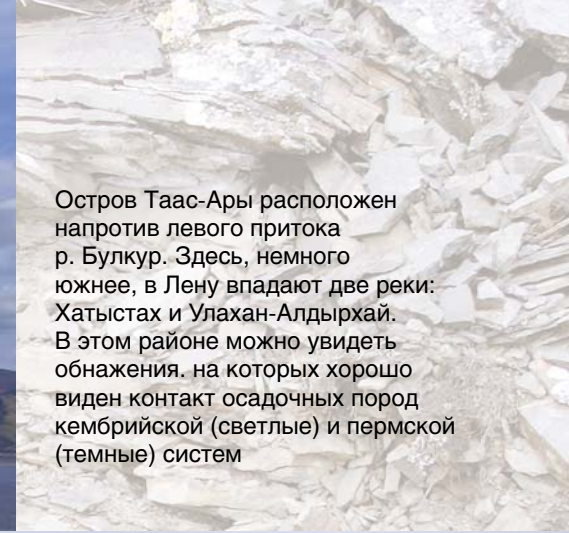
После окончания работ на «оленекском» участке 13 августа отряд вернулся на теплоход. На этих широтах середина августа это уже почти осень: трава и кустарники начинают желтеть, зеленеют лишь ели в речных долинах.

Еще десяток лет назад мыс Ыстаннах-Хочо был обитаем. Море разрушило поселок, но эти места не совсем обезлюдели: стоило отряду появиться по соседству, сразу объявился местный житель



ПРОНЧИЩЕВЫ – СЕМЬЯ ПОЛЯРНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ

Великая Северная (иначе – Вторая Камчатская) экспедиция – одно из самых грандиозных не только в отечественной, но и в мировой истории научно-исследовательских предприятий, состоялась в 1733—1744 гг. Экспедиционные отряды, в состав которых вместе со вспомогательным персоналом входило несколько тысяч человек, исследовали арктическое побережье Сибири от устья Двины до Чукотки, прибрежные районы Ледовитого океана и северную часть Тихого океана. Ленско-Енисейским отрядом командовал морской офицер Василий Васильевич Прончищев. Отряд отправился в путь 30 июня 1735 г. на дубель-шлюпке «Якутск» с экипажем свыше 40 человек, в состав которого входили штурман Семен Челюскин и геодезист Никифор Чекин. Отряд обследовал территорию от устья Лены на запад, к побережью п-ова Таймыр. Общая длина описанной Прончищевым береговой линии составила 500 км. 29 августа Прончищев на шлюпке отправился на разведку, где сломал ногу. Вернувшись на судно, он потерял сознание и вскоре умер. Истинная причина смерти – синдром жировой эмболии вследствие перелома – стала известна совсем недавно, после того как в 1999 г. могила путешественника была вскрыта. Ранее считалось, что Прончищев умер от цинги. Вместе с Прончищевым в экспедицию отправилась его жена, Татьяна Федоровна. Она принимала участие в экспедиции скрытно: в рапортах Прончищева и Челюскина, а также руководителей экспедиции В. Беринга и А. Чирикова она не упоминается. Татьяна Прончищева ненадолго пережила своего мужа, скончавшись через две недели после него. Могилу Прончищевых в 1875 г. обнаружил геолог А. Л. Чекановский. Крест, стоящий на ней, был дважды восстановлен – в 1893 г. известным полярником Э. В. Толлем, а в 1921 г. – гидрографом Н. И. Евгеновым. В наши дни могила Прончищевых, рядом с которой находятся полярная станция и пос. Усть-Оленек, бережно охраняется как исторический памятник



Остров Таас-Ары расположен напротив левого притока р. Булкур. Здесь, немного южнее, в Лену впадают две реки: Хатыстах и Улахан-Алдырхай. В этом районе можно увидеть обнажения, на которых хорошо виден контакт осадочных пород кембрийской (светлые) и пермской (темные) систем



Главная часть обеденного меню маршрутных групп – «полевой фастфуд», тушенка, разогретая прямо в банке

Для передвижения по притокам Лены отряд использовал надувные лодки с подвесным мотором

Следующим пунктом остановки стало устье Лены – реки, с одной из самых больших в мире дельт. Природная достопримечательность дельты – о-в Столб. Согласно легенде, он был сложен шаманом на могиле дочери, погибшей в бою с врагами: дух девушки, обитающий в этом месте, продолжает время от времени являться людям. На вершине острова стоит сложенный из камней тур (гурий); там же расположен и тайник, в котором туристы оставляют памятные записки и предметы.

Работы проводились однодневными маршрутами: утром выходили, а к вечеру все члены отряда возвращались в свой плавучий «дом». Наличие на его борту душа с горячей водой, стиральной машины и повара позволяло поддерживать высокую работоспособность отряда. В помощь повару каждый день выделяли дежурного, а все остальные уходили в маршруты. И лишь поздним вечером отряд в полном составе собирался в кают-компанию.

После стоянки в устье отряд начал постепенно продвигаться на юг по руслу реки. Плыть по могучей северной реке было непросто: теплоходу неоднократно приходилось искать укрытие от внезапно налетавшего шторма или шквального ветра, изрядно потрепавших корабельный флаг.

Иногда в ночное время к судну на лодках причаливали местные рыбаки, предлагая свежий улов – омуля, тайменя, нельму.

Конечной точкой маршрута стало устье р. Чубукулах, расположенной выше по течению от пос. Чекуровка. Оттуда 10 сентября отряд отправился в обратный путь.

Шли против течения, поэтому дорога заняла в два раза больше времени.

18 сентября «Триасовый отряд» вернулся в Якутск, пройдя по воде в общей сложности около 3650 км, не считая пеших маршрутов. Полевой сезон 2010 г. подошел к концу.

В заключение стоит сказать, что отряд полностью выполнил порученное ему задание. За 73 дня, проведенные в «поле», мы посетили все запланированные для изучения полевые объекты, вплоть до самых труднодоступных.

В результате удалось получить большой объем новых данных в области стратиграфии, палеонтологии, петрографии и минералогии алмазопродуктивных пород. Эта информация не только представляет ценность с точки зрения фундаментальной науки, но и будет способствовать дальнейшему совершенствованию методов прогнозирования и поисков месторождений алмазов.



«Триасовый» в полном составе и коллеги из СНИИГГМС в день завершения работ

Долина р. Улахан-Алдырхай в осеннем убранстве. Это место примечательно тем, что в пределах двух километров здесь уместился разрез осадочной толщи интервалом в 350 млн лет: от белых известняков кембрийского возраста до гряды нижнемеловых песчаников и алевролитов

Литература

Боднарский М. С. Великий Северный морской путь. Историко-географический очерк открытия Северо-Восточного прохода. М.; Л.: Госиздат, 1926. 255 с.

Кандидов А. В. Исследователь Крайнего Севера, мореплаватель Василий Прончищев. Калуга: Золотая аллея, 2008. 160 с.

Попов С. В. Морские имена Якутии. Очерки по топонимии морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, Очерк 3 - Кресты Великой Северной. Якутск: Кн. изд-во, 1987. 168 с.

В публикации использованы фото автора

А. В. ТОЛСТОВ

ТОМТОР

кладовая «редкостей»

Еще не так давно о промышленном развитии страны судили по объему выплавленного чугуна и стали. Но время «железа и угля» прошло: в последние десятилетия в мире идет неуклонный рост потребления так называемых редких элементов, связанный с появлением и развитием новых технологий и новых отраслей промышленности. Покупая сегодня сложную оргтехнику, устраивая фейерверк или пользуясь сотовым телефоном, мы даже не задумываемся о том, что они созданы с применением редких элементов – самария, неодима, церия, стронция и т.д. Уже сегодня отечественная промышленность испытывает дефицит в таких элементах, несмотря на относительно небольшие потребности, которые к тому же удовлетворяются почти исключительно за счет импорта. При этом в России разведаны и готовы к освоению колоссальные запасы редких элементов, разработка которых может обеспечить «сырьевую независимость» страны на сотни лет вперед

ТОЛСТОВ Александр Васильевич – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Новосибирск). В 1985–2012 гг. работал в ПГО «Якутскгеология», ПНО «Якуталмаз» и АК «АЛРОСА». В 1986 г. открыл аномально рудоносные породы на участке Буранный массива Томтор. Заслуженный геолог Якутии; удостоен Премии им. А. Н. Косыгина (2003) и звания «Почетный разведчик недр» (2011). Автор и соавтор более 110 научных работ, в том числе 9 монографий

Ключевые слова: Томтор, щелочно-ультраосновные породы, карбонатиты, кора выветривания, редкоземельные элементы, ниобий.

Key words: Tomtor, alkaline-ultrabasic rocks, carbonatite, crust of weathering, rare earth elements, niobium

© А. В. Толстов, 2013

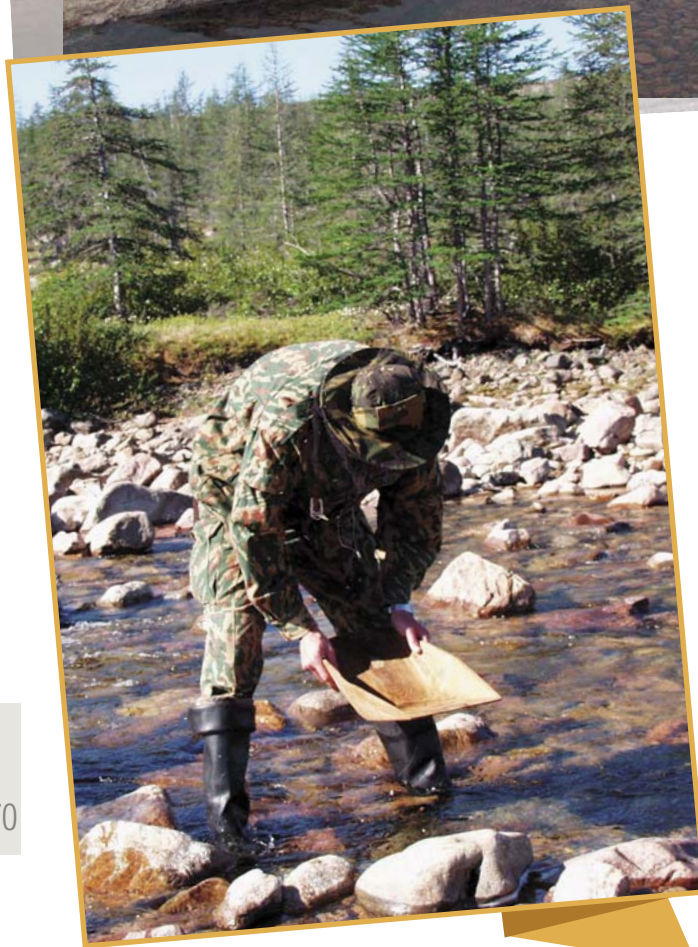
НАУКА из первых рук <http://scfn.ru/papers/tomtor-kladovaya-redkostey/>

Рудный массив Томтор расположен на самом севере Якутии, в 250 км от побережья Северного Ледовитого океана. Открыли его еще в конце 1950-х гг. прошлого века ленинградские геологи С. А. Гулин и Э. Н. Эрлих. Примечательно, что один из фактических первооткрывателей Томтора Сергей Гулин послужил прообразом Сергея Гурина, главного героя культовой книги о жизни советских геологов той поры – романа О. Куваева «Территория».

Уникальность массива – в гигантском месторождении комплексных руд: на сегодняшний день государственным балансом учтены запасы десяти химических элементов, но все же визитная карточка Томтора – это ниобий, иттрий, скандий и лантаноиды, присутствующие здесь в огромных количествах и в уникальных концентрациях.

Главные минералы руд Томтора – ниобиевый пирохлор и редкоземельные фосфаты. Обычно их содержание в породах не превышает 1–5%. Однако на Томторе эти минералы являются, по сути, породообразующими, составляя от 10 до 80%! Фактически, речь идет о настоящем ниобий-редкоземельном концентрате, для получения которого из обычной руды требуются мощные обогатительные фабрики. Здесь же, на Томторе, это «дело рук» самой природы!





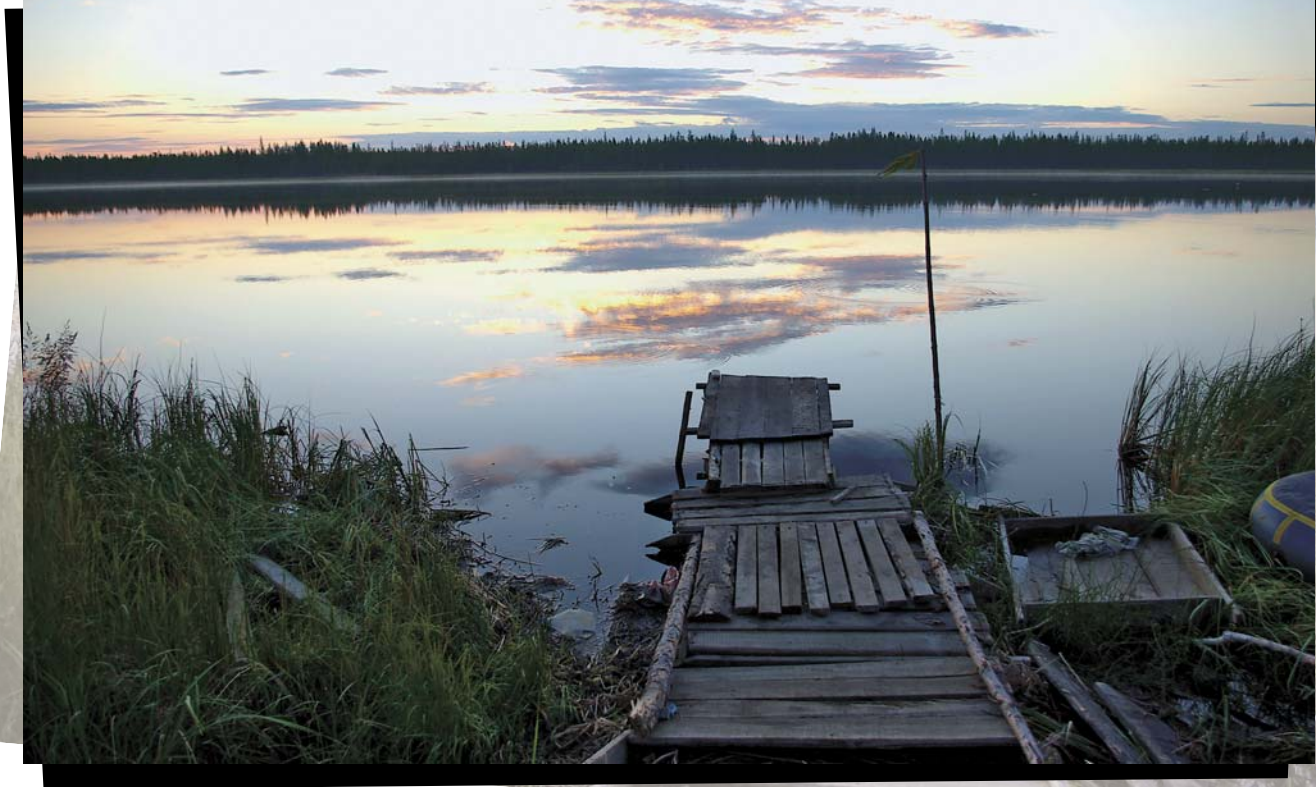
Будни геолога-поисковика, с одной стороны, непросты – тяжелый труд вдали от обжитых мест, один на один с зачастую недружелюбной природой. С другой стороны, именно в этих неизведанных уголках человеку открывается нетронутая цивилизацией красота

К сожалению, несмотря на интерес, проявленный к уникальному месторождению с самого его открытия, удаленность Томтора на тысячи километров от промышленных районов стала объективной причиной, препятствующей его освоению. И даже теперь, спустя полвека после открытия, настоящее и будущее этого гигантского «редкого» месторождения остаются весьма неопределенными.

Так нужен ли Томтор сегодняшней России, учитывая кардинальные перемены, произошедшие в ее минерально-сырьевой базе и структуре мировой экономики?

В «редкоземельном» веке

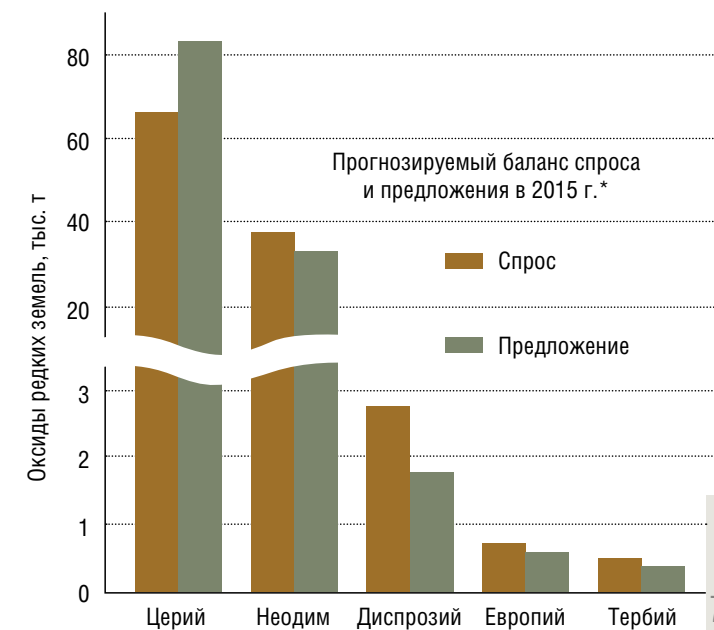
Само словосочетание «редкие элементы» достаточно условно и традиционно используется с тех пор, когда большая часть их действительно была редкой даже не столько по содержанию в недрах, сколько по применению в промышленности. Со временем в этой «модной» группе побывало более пятидесяти химических элементов, включая те, которые сегодня используются в качестве основных конструкционных материалов при производстве предметов обихода и товаров повседневного спроса (например, титан, молибден, олово и др.).



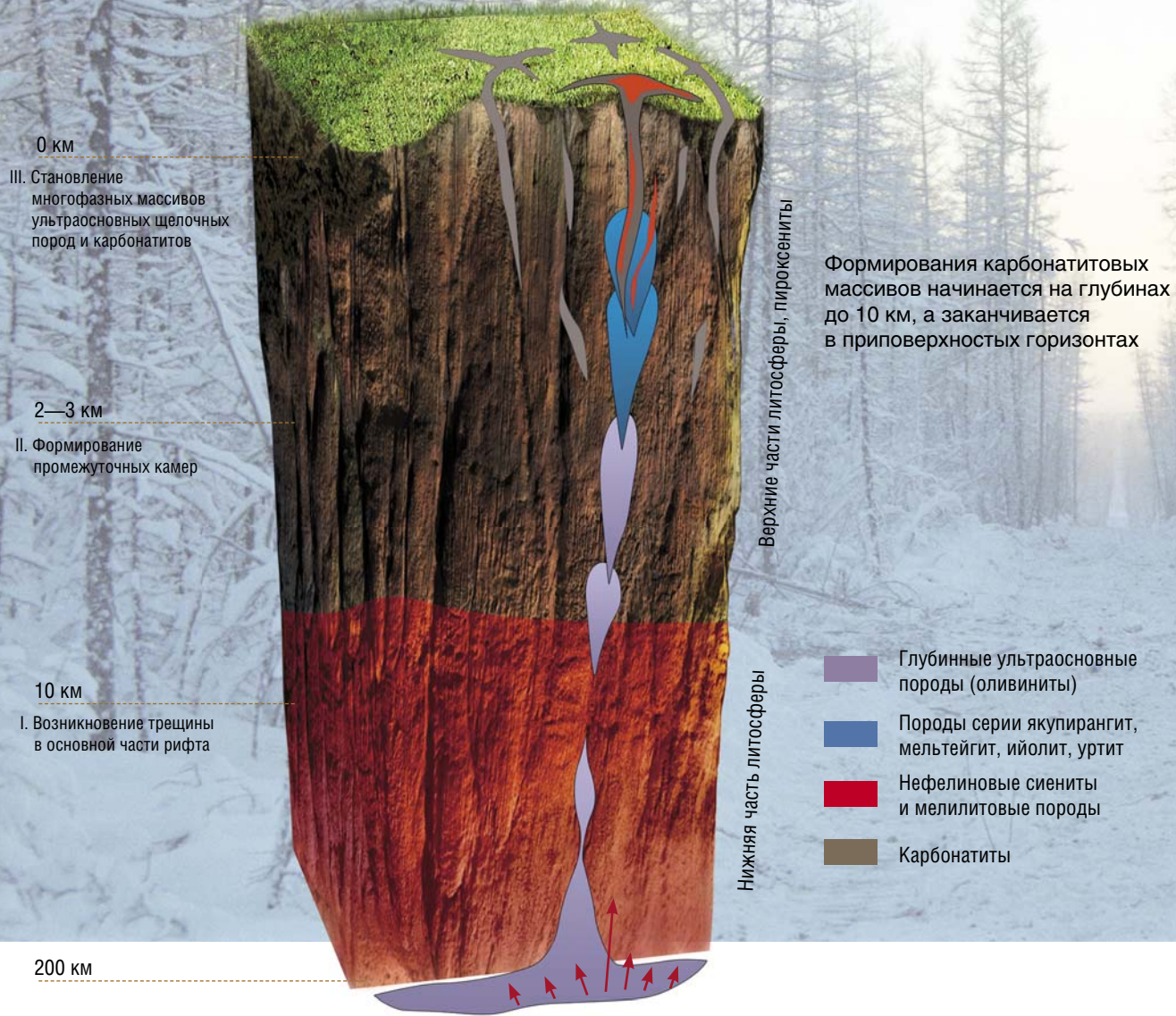
ПО ЗАПАСАМ – ВТОРЫЕ

Мировой рынок редких элементов отличает парадоксальная диспропорция: львиную (до 90 %) долю рынка ниобия контролирует Бразилия, а редкоземельных элементов – Китай, на протяжении последних полутора десятков лет поставлявший их по всему миру по низким ценам. В 2010 г., когда случился «редкоземельный» кризис, Китай был вынужден резко ограничить экспорт, чтобы удовлетворить возросший внутренний спрос на это сырье. Последовавший многократный рост цен на редкие элементы показал всем развитым странам, что в условиях монополизированного рынка очень недальновидно ориентироваться исключительно на импортное сырье, как это до сих пор делается в России.

По разведанным запасам редкоземельных элементов наша страна сегодня занимает второе место в мире после Китая, а по ресурсам мы безусловные лидеры. У нас имеются крупнейшие месторождения ниобия и редких земель (Томторское, Чуктуконское) и тантала (Катугинское). Большая часть запасов этих элементов учитывается в Государственном балансе в виде попутных компонентов комплексных руд (преимущественно апатита). В результате, благодаря добыче этих руд, с баланса ежегодно списывается более 80 тыс. т редкоземельных оксидов, в то время как реально в виде товарных продуктов их извлекается не более 1,5—2,5 тыс. т. Таким образом, в отходы поступает количество редкоземельных элементов, в 20 раз превышающее потребности отечественной экономики. Однако в России отсутствуют производственные мощности, необходимые для переработки таких отходов, а строительство новых в современных условиях экономически нецелесообразно



Открытие новых сфер приложения изменило структуру потребления редких элементов: наиболее дефицитными становятся неодим, празеодим, тербий и диспрозий, которые используются в производстве электромобилей. Судя по прогнозам специалистов, спрос на некоторые из этих элементов не будет удовлетворен в течение ближайших лет. По: (Похиленко, Толстов, 2012)



Месторождения редких элементов часто связаны с карбонатитами, как в случае Томтора.

Карбонатитами называют глубинные породы, в состав которых входит более половины карбонатов. Эти породы формируются в тесном родстве с ультраосновными щелочными породами путем дифференциации магмы в глубинных магматических очагах. Очаги обычно приурочены к магмоподводящим разломам, которые расположены на глубинах 1—10 км и перекрыты толщей земной коры, затрудняющей подъем магмы.

Процессы дифференциации магмы, приводящие к образованию карбонатитов, идут в особых условиях: очаг должен залегать не слишком глубоко, чтобы давление не препятствовало процессам образования карбонатитов, но и не слишком близко к поверхности, чтобы не допустить их быстрого остывания. В дальнейшем карбонатитовая и ультраосновная магма внедряются в приповерхностные слои, где и формируют жильные образования. Обычно размеры таких карбонатитовых тел не превышают 1 км в диаметре, однако Томтор в этом смысле уникален: диаметр его центрального тела составляет около 6 км.

Массивы карбонатитов приурочены к наиболее проницаемым участкам, т. е. к местам разветвления, сочленения и пересечения разнонаправленных тектонических разломов. Из всех комплексов ультраосновных щелочных пород наиболее рудоносны именно карбонатиты. Но наиболее богатыми являются продукты приповерхностного изменения (выветривания) карбонатитов, которые и формируют промышленные типы руд, содержащие целый комплекс полезных ископаемых: ниобий, фосфор, железо и редкоземельные элементы

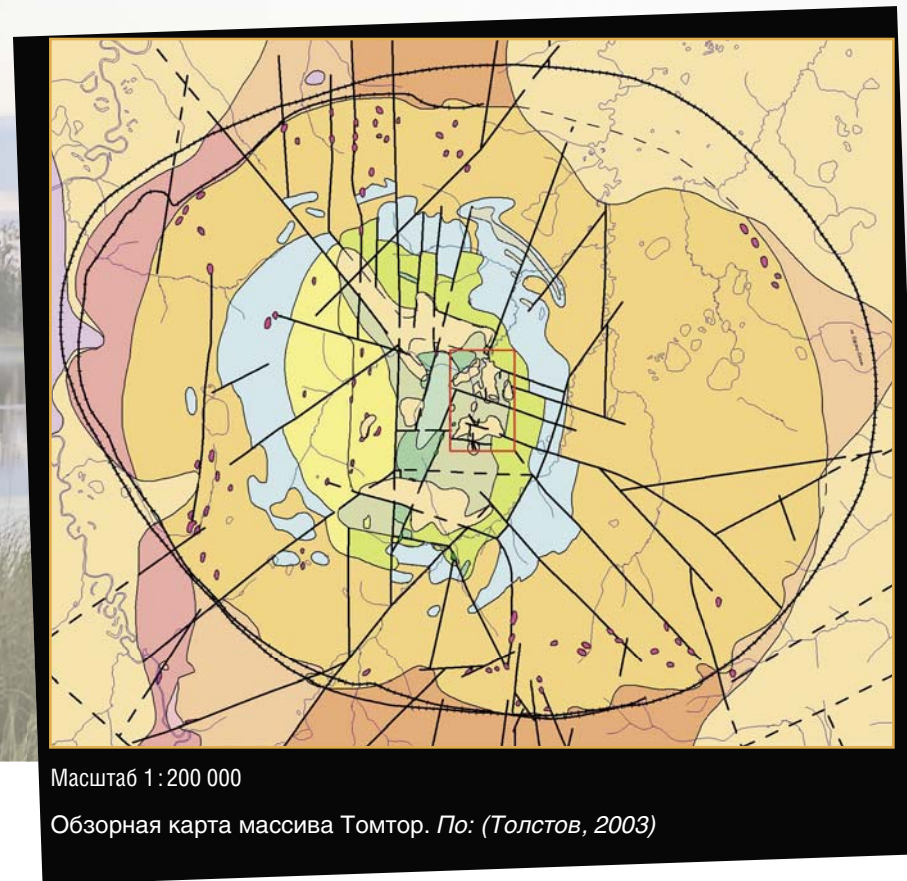
Эти пузырьки – газо-жидкие включения в пироксене, типичном минерале ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, видны лишь при очень большом увеличении. Экспериментальным нагреванием можно точно установить условия образования той или иной породы: температура гомогенизации, при которой такие включения в минерале становятся однородными, и считается температурой образования этого минерала. Так было установлено, что «пузырьки» в пироксене образуются лишь на больших глубинах и при высоких (свыше 1000 °С) температурах

Сейчас «редкими» принято называть большую группу из 35 элементов, в которую входят редкие металлы (тантал, ниобий, литий, бериллий, цирконий и др.) и 17 редкоземельных элементов (скандий, иттрий, лантан и лантаноиды).

По утверждению специалистов, промышленно-экономический уровень развития современных государств определяется масштабами потребления не столько чугуна и стали, сколько именно редких металлов. Без преувеличения можно сказать, что в современном мире все аэрокосмические, ядерные, сверхжаростойкие, сверхмагнитные, сверхлегкие, сверхтвердые и сверхпрочные конструкционные материалы создаются либо

на основе, либо с использованием редких элементов. Многие редкие металлы, долгое время почти не находившие применения, в настоящее время вызвали к жизни целые области современной промышленности, науки и техники, такие как солнечная энергетика, сверхскоростной транспорт на магнитной подушке, инфракрасная оптика, оптоэлектроника, информационные и компьютерные технологии и многое другое.

Современный мировой рынок редких элементов характеризуется своеобразным парадоксом, заключающимся в относительно низкой стоимости элементов цериевой группы (лантан и церий), обеспеченных хорошей сырьевой базой (преимущественно Китаем),



Масштаб 1 : 200 000

Обзорная карта массива Томтор. По: (Толстов, 2003)

и чрезвычайно высокой стоимости другой группы, куда входят иттриевые редкоземельные элементы и скандий, что объективно сдерживает их потребление.

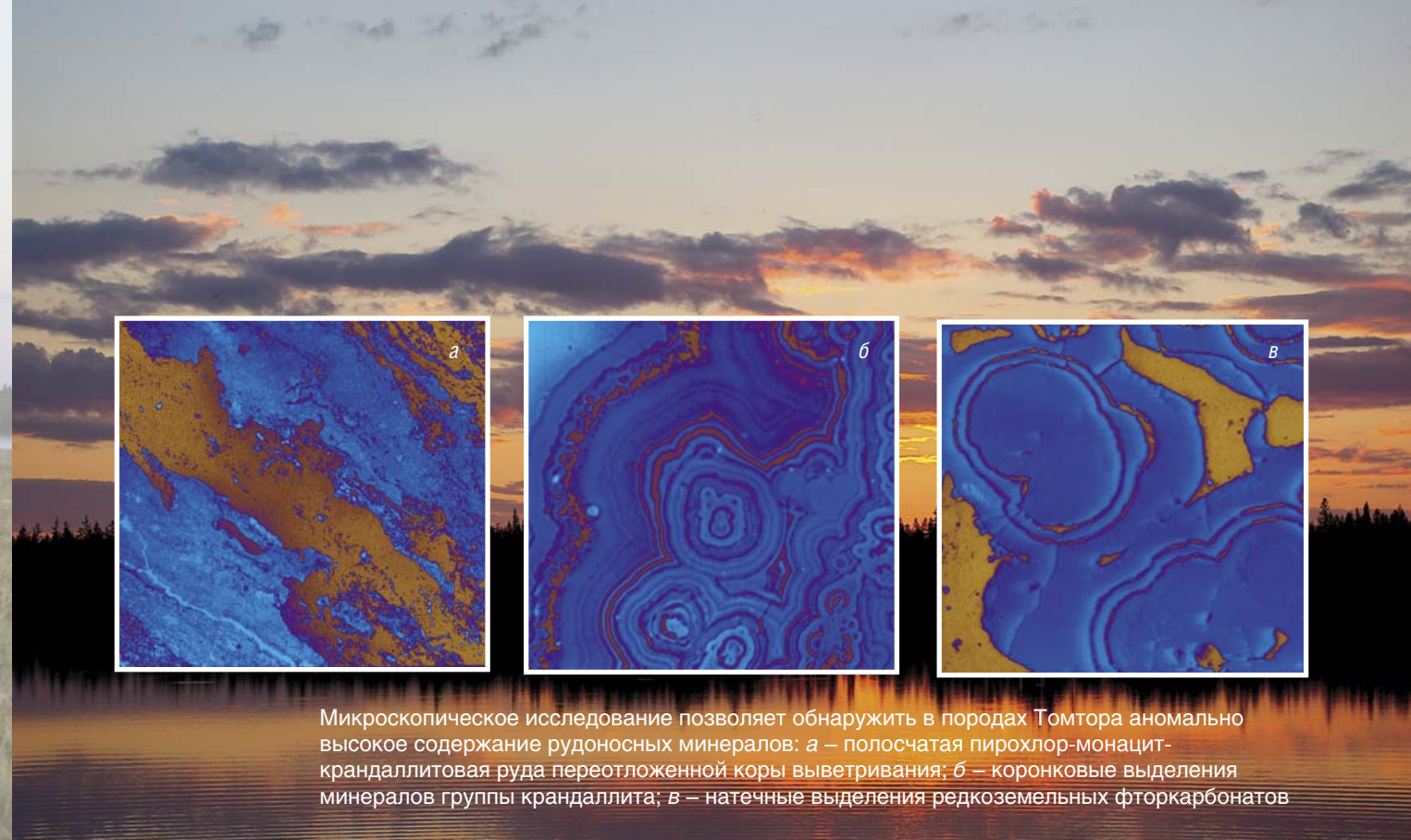
В целом же в современном мире наблюдается кардинальная диспропорция в потреблении редких элементов на душу населения в различных странах, исчисляемая разами и даже порядками. Потребление редких элементов на тонну стали в пересчете на душу населения – это своеобразный показатель промышленной «развитости» государства. И для большинства развивающихся стран (в том числе и России) этот показатель сегодня в несколько раз (а по некоторым редким металлам – и на порядок!) ниже, чем для развитых.

Лидер среди гигантов

В СССР научно-техническая революция в промышленности началась гораздо позже, чем в развитых странах, и к началу 1980-х гг. наша страна значительно отставала по потреблению редких элементов. Например, потребление ниобия в расчете на душу населения было в 8 раз меньше, чем в Италии, и в 7 раз меньше, чем в ФРГ; потребление циркония – в 9 раз меньше, чем в Японии и т. п. При этом в СССР львиная доля этих элементов шла в оборонную промышленность.

В дальнейшем эта тенденция только усугублялась, особенно в последней четверти прошлого века, когда единая редкометалльная промышленность СССР развалилась, и ее предприятия оказались в пределах разных государств (Казахстана, России и Эстонии). Ясно, что разорванные экономические связи уже не могут быть восстановлены в прежнем виде.

- Отложения, перекрывающие породы массива Томтор
- Туфы, лавы, базальтовые покровы триасового (200—250 млн лет) периода
 - Песчаники, гравелиты и угли пермского (250—300 млн лет) периода
 - Песчаники и кварциты вендского (570—680 млн лет) времени
 - Карбонатные отложения рифейского (680—1650 млн лет) времени
- Глубинные образования массива Томтор
- Рудная группа
- Карбонатитовые брекчии
- Редкометалльная подгруппа
- Анкеритовые карбонаты
 - Анкерит-шамозитовые породы
- Фосфорно-редкометалльная подгруппа
- Карбонаты полиминеральные рудоносные: кальцит, доломит
 - Апатит-микроклин-слюдястые породы
- Безрудная группа
- Карбонаты полиминеральные (кальцитовые, доломитовые)
 - Кальцит-микроклин-слюдястые породы безрудные
 - Кальцит-флогопит-магнетитовые породы (железные руды)
- Силикатные породы
- Ультраосновные породы (жилы и трубки взрыва)
 - Сиениты (щелочные и нефелиновые)
 - Фоидолиты (нефелин-пироксеновые породы)
- Геологические границы
- Достоверные тектонические нарушения
 - Предполагаемые тектонические нарушения
 - Внешние границы массива Томтор по геофизическим данным (магниторазведка, гравиразведка)
 - Границы участка Буранный



Микроскопическое исследование позволяет обнаружить в породах Томтора anomalно высокое содержание рудоносных минералов: а – полосчатая пирохлор-монацит-крандаллитовая руда-переотложенной коры выветривания; б – коронковые выделения минералов группы крандаллита; в – натечные выделения редкоземельных фторкарбонатов

Целенаправленные исследования по оценке перспективности рудных запасов Томтора начались лишь спустя три десятилетия после открытия месторождения. Первая геолого-экономическая оценка была проведена в начале 1980-х гг. сотрудниками Научно-исследовательского института геологии Арктики (Ленинград) Э. Н. Эрлихом, Г. И. Поршневым и Л. Л. Степановым. В середине 1980-х гг. на Томторе силами производственного геологического объединения «Якутск-геология» проводились поисковые работы, в ходе которых автором статьи обнаружены неизвестные ранее пирохлор-монацит-крандаллитовые руды. Открытие колоссальных запасов этих руд с их уникальной рудоносностью кардинальным образом изменило отношение к этому месторождению, признанному одним из крупнейших в мире. Однако в наступившие вскоре драматические «перестроечные» годы минеральные богатства Томтора вновь оказались невостребованными

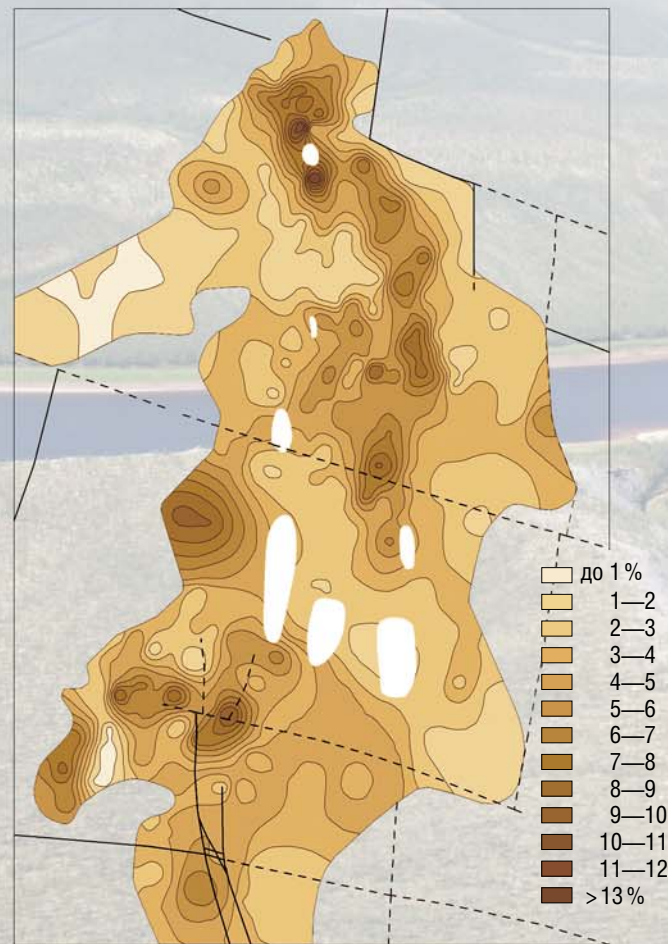
В наши дни добыча редкоземельной руды в России ведется в ограниченных объемах только на ООО «Ловозерский ГОК» (Мурманская обл.) с получением лопаритового концентрата, который перерабатывается на ОАО «Соликамский магниевый завод» (Пермский край). Конечные продукты практически полностью экспортируются в Эстонию. Оба российских предприятия находятся в частной собственности, их основные фонды существенно изношены, в связи с чем в ближайшей перспективе можно ожидать снижения объемов производства.

Российские предприятия удовлетворяют свои потребности в редкоземельных металлах и ниобии почти исключительно за счет импорта, при этом уже с 2012 г. в России наблюдается нарастающий дефицит редких земель, составляющий на сегодня около 300 т в год. В ближайшее десятилетие это может стать основным сдерживающим фактором развития российских высокотехнологичных отраслей.

Наращивание мощностей по получению редких элементов, конечно, возможно за счет ныне действующего Ловозерского ГОКа, но это поможет удовлетворить текущие потребности отечественных предприятий лишь в легких лантаноидах, имеющих относительно невысокую ликвидность на рынке. Кардинальное изменение ситуации возможно лишь при вводе в эксплуатацию новых уникальных объектов, способных удовлетворить любые потребности рынка.

Нужно сказать, что Россия обладает колоссальной минеральной ресурсной базой редких элементов, которая преимущественно сосредоточена в северных и восточных регионах страны. Кольская, Маймеча-Котуйская, Восточно-Саянская, Сете-Дабанская и Уджинская карбонатитовые провинции составляют основу сырьевого потенциала железа, фосфора и редких элементов.

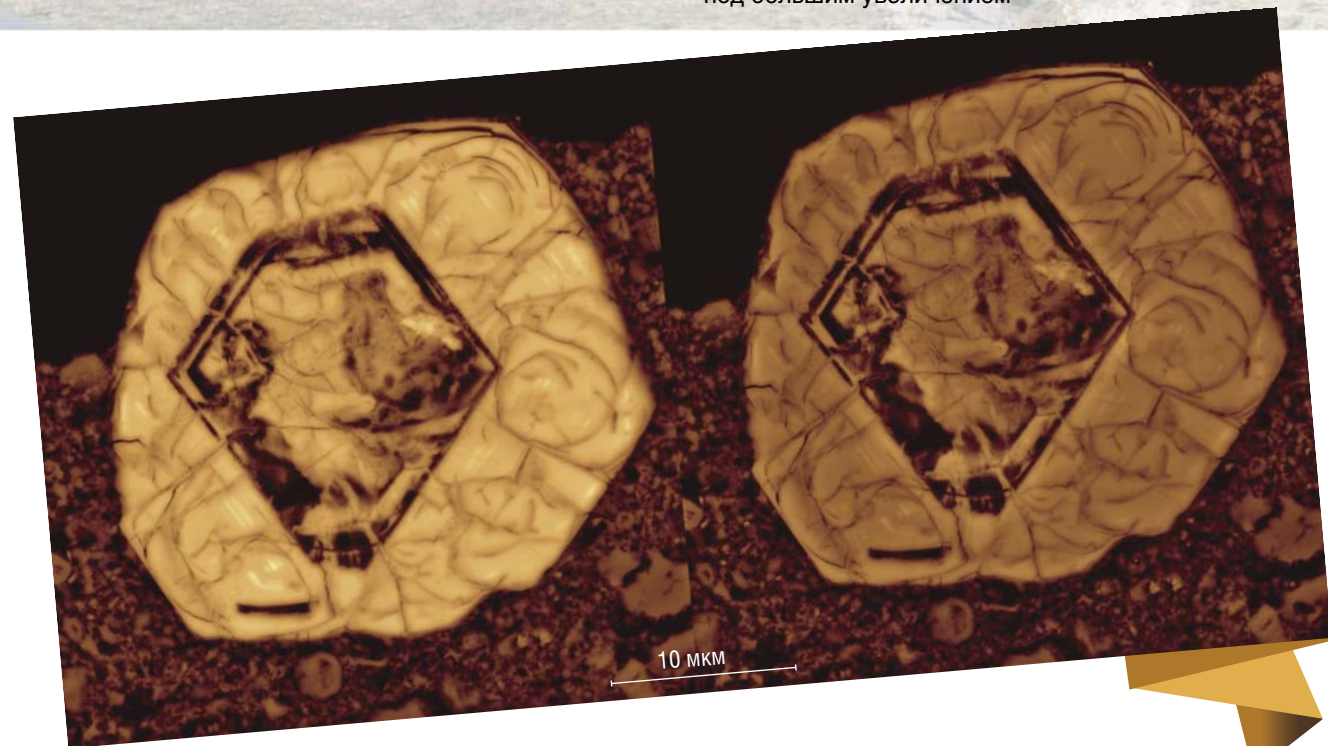
Но и на фоне этих месторождений Томтор выглядит безусловным лидером. Как известно, естественные концентрации редких элементов



значительно варьируют и обычно измеряются граммами на тонну (скандий), тысячными и сотыми долями (тантал), достигая десятых долей процентов (ниобий, церий, лантан). Концентрации же, представляющие промышленный интерес, – в несколько раз выше. Содержание оксидов редких элементов в рудах Томтора поражает воображение, достигая для ниобия 1–24 %, иттрия – 0,1–3,5 %, скандия – 0,01–0,15 % и для других редкоземельных металлов – 1–39 %.

Для сравнения будет уместно привести данные для такого известного месторождения, как Араша (Бразилия), которое дает около 90 % мировой добычи ниобия: в его рудах содержание оксида ниобия достигает всего лишь 1,0–2,5 % при практическом отсутствии попутных редких земель. Руды еще одного крупнейшего редкоземельного месторождения Баюнь-Обо (Китай) содержат до 10 % оксидов редких металлов, однако в них полностью отсутствует ниобий. Согласно же оценке запасов томторских руд, выполненной в 1999 г.

Природные процессы выветривания и метаморфизации пород на месторождении Томтор фактически выполнили работу обогатительных фабрик, которая требуется для получения рудного концентрата из более бедных руд типичных редкометалльных месторождений. Слева – содержание пентаоксида ниобия в рудах на участке Буранный месторождения Томтор; внизу – главный ниобиевый минерал пирохлор под большим увеличением



с учетом требований Государственной комиссии по запасам, бортовое содержание оксида ниобия (т. е. минимальное, при котором руда еще считается кондиционной) составляет для Томтора 3,5 %, что выше средних концентраций для руд Араши! При этом запасы таких кондиционных руд только одного участка Буранный составляют 42,7 млн т.

Таким образом, по ресурсам и концентрациям ниобия и редких земель Томтор сегодня по праву можно назвать мировым лидером среди «редкометалльных гигантов». Его освоение позволит обеспечить необходимый прирост производства всей линейки редкоземельной продукции, а также высоколиквидных «попутных» оксидов алюминия и титана.

Рождение Томтора

Каким же образом образовались уникальные редкоземельные руды Томтора? Было выдвинуто несколько гипотез об их происхождении, среди которых можно выделить три основные: отложение в озерах (осадочный генезис); преобразование излившихся лавовых потоков (эффузивно-осадочный генезис); концентрирование тяжелых нерастворимых редких элементов в результате поэтапного выноса породообразующих элементов при последовательной смене окислительного и восстановительного процессов.

Согласно последней гипотезе (Лапин, Толстов, 1991, 1993), главными этапами рудообразования являлись выветривание первично рудоносных карбонатитов, последующее переотложение и структурно-вещественное преобразование материнских пород в неравновесных

условиях системы вода–порода (эпигенетическое преобразование). На последнем этапе образовавшиеся руды были захоронены под осадочными отложениями, что убергло их от размыва.

В итоге вырисовывается следующая картина. Сам массив Томтор формировался как глубинный магматический очаг достаточно долго. Установлено, что процесс его образования занял более двухсот миллионов лет (в период от 600 до 350 млн лет назад) и состоял, скорее всего, из 2–3 независимых этапов. Сформировавшийся в результате сложно построенный массив был выведен на дневную поверхность лишь в девонском периоде, когда в морях только появились первые рыбы.

В это время климат нынешней заполярной Якутии был похож на климат экваториальной Африки, и благодаря таким температурным условиям породы, особенно неоднородные по составу рудоносные полиминеральные карбонатиты, подверглись значительным преобразованиям. В результате на массиве сформировалась железисто-фосфатная «шляпа» мощностью до 300 м, буровато-ржавого цвета из-за оксидных минералов железа (гематита и лимонита).

В дальнейшем растворимые карбонатные породы стали вымываться и выноситься в процессе карстообразования, в результате чего карбонатиты потеряли от 50 до 90 % первоначального объема. Таким образом произошло накопление рудных элементов, обогащенных ниобием и редкоземельными металлами.

В центральной части массива на месте участков, подвергшихся карстообразованию, на рубеже каменноугольного и пермского периодов образовались обширные впадины. К этому добавились тектонические подвижки

в результате неоднократных землетрясений, последовавших в каменноугольный период. Все эти процессы обусловили перераспределение рыхлого вещества: порода верхних участков размывалась и откладывалась во впадинах. Так в центре массива появились три локальных участка (Северный, Буранный и Южный), аномально обогащенных рудными минералами с четкой ниобий-редкоземельной специализацией.

В последующее раннепермское время впадины рельефа заполнили пресноводные водоемы, в которых накапливались органические осадки, что привело к радикальной смене окислительных условий на восстановительные. Вследствие этого трех- и четырехвалентные оксидные соединения железа и марганца в рыхлых продуктах выветривания перешли в подвижные двухвалентные соединения; в результате выноса последних произошел дальнейший значительный рост концентраций нерастворимых форм ниобия, фосфора и редкоземельных элементов.

Пермские озерные впадины затем были заполнены галечниками и песками с прослоями угля, которые образовали геохимический барьер, позволивший в триасовом периоде сохранить сформированные руды от размыва или выноса. В юрский период благодаря наступлению обширного Северного моря на всей площади массива Томтор образовались морские отложения мощностью свыше 100 м.

Такая картина рудообразования, очевидно, является достаточно типичной для всех карбонатитовых массивов центрального типа (Лапин, Толстов, 1991). Это позволяет выработать критерии поисков уникальных руд в переотложенных корах выветривания в уже известных подобных массивах как в России, так и за рубежом.

В дело идет все

Уникальные руды Томтора представляют собой природную смесь концентратов, поэтому весьма сложны для механического обогащения. По этой причине за основу технологии переработки руды выбрана гидрометаллургическая схема обогащения, которая обеспечивает получение кондиционных концентратов при высоком извлечении полезных компонентов.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н. М. Федоровского (Москва) и в Государственном научно-исследовательском проектном институте редкометаллической промышленности «Гиредмет» (Москва) при существенном участии специалистов Института химии и химической технологии СО РАН (Красноярск) разработана двухстадийная схема переработки руды: щелочное разложение с выведением фосфатов и последующая азотно- или солянокислая обработка с хлорированием твердого остатка и экстракцией редкоземельных эле-

«...Считаю, что нужно подготовить „дорожные карты“ развития новых отраслей по аналогии с „дорожными картами“ улучшения инвестиционного климата, это в том числе композиты и редкоземельные металлы...»

Из послания Президента РФ В. В. Путина Федеральному собранию. Москва, Кремль, 12.12.2012 г.

ментов. Эта технология позволяет вовлечь в полезную переработку до 75 % рудных компонентов!

Беспрецедентность этой схемы в том, что из одной тонны руды удастся получить почти 1,2 т товарных продуктов! Как такое возможно? Дело в том, что при переработке руды помимо редкометалльного сырья попутно получают глинозем (алюминий), титан и даже такой продукт повседневного спроса, как тринатрий-фосфат – основу стирального порошка. К продуктам производства можно отнести и применяющиеся в технологическом процессе щелочной алюминатный раствор, соляную кислоту и промежуточные соединения бария и стронция, которые восстанавливаются на определенных стадиях переработки и могут использоваться многократно.

Условия залегания переотложенных руд Томтора позволяют отрабатывать их карьером, проектируемая мощность которого составляет первоначально 10 тыс. т сухой руды с постепенным доведением до 100 тыс. т ежегодно. Следует добавить, что ниобий-редкоземельные руды являются радиоактивными вследствие повышенного содержания урана, тория и калия-40. Однако непосредственно на поверхности месторождения радиоактивность относительно невысока (от 2 до 22 мкр/ч) и остается в рамках естественного радиационного фона.

Негативному влиянию при разработке месторождения может, предположительно, подвергнуться территория в радиусе не более 2,5 км от карьера. Большинство химических элементов присутствуют в руде в виде труднорастворимых, а зачастую не растворимых в воде минеральных соединений, миграция которых возможна лишь в окисленном и (или) в коллоидном либо взвешенном состоянии только в период паводков.

Поэтому основная опасность загрязнения окружающей природы токсичными радиоактивными элементами и тяжелыми металлами связана преимущественно с ветровым разносом минеральных частиц из карьера и отвалов. В районе месторождения в течение года преобладает субмеридиональное направление ветра, что можно учесть при планировании формы и размера будущего карьера и тем самым свести к минимуму распространение опасной (в том числе радиоактивной) пыли.

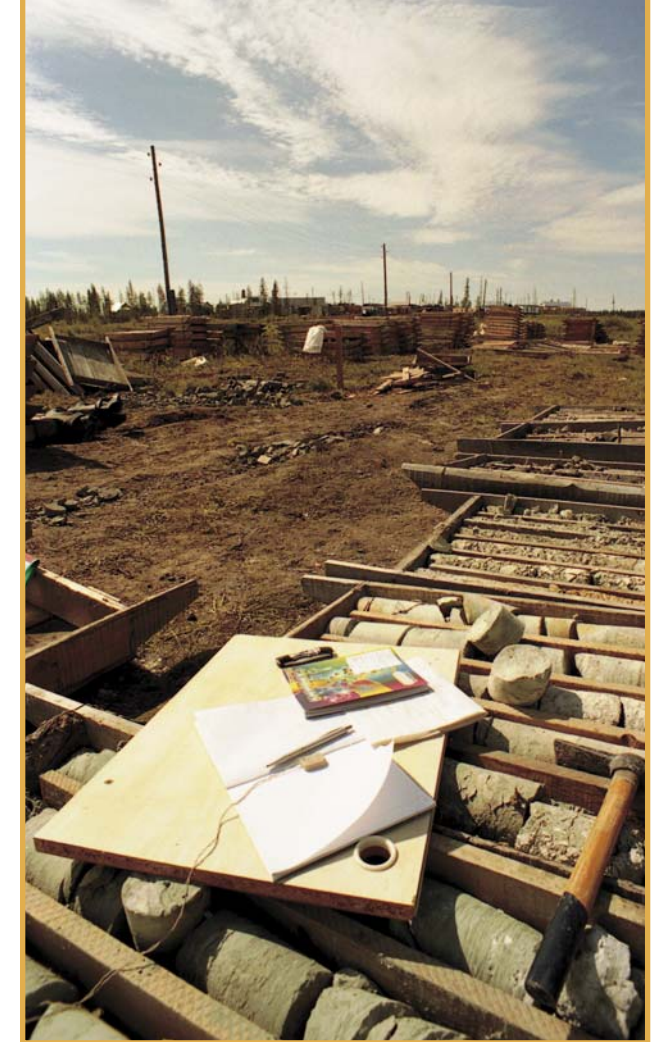
Итак, на открытом почти полвека назад редкоземельном месторождении Томтор проведены все необходимые геолого-разведочные и изыскательские работы, полностью разработана и технологическая схема обогащения уникальных руд: месторождение готово к эксплуатации. Если оно будет введено в строй, окупаемость основных фондов будущего предприятия по состоянию на 2012 г. составит около пяти лет. При этом нужно отметить, что высокая капиталоемкость российских «рудных» проектов не позволяет реализовать их без привлечения государственного финансирования и поддержки в виде особых форм лицензирования, недропользования и налогообложения, и в этом смысле Томтор не является исключением.

Удаленность от густонаселенных районов в настоящее время не является фатальной проблемой: в районе месторождения, в 80 км к западу разведаны и отрабатываются алмазные россыпи, на которых сегодня успешно действуют алмазодобывающие предприятия ОАО «Алмазы Анабара» и ГГП «Нижнеленское», перерабатывающие миллионы кубометров горной породы за промысловый сезон, а предполагаемые объемы добычи руды на Томторе на порядок ниже этих цифр. Также имеется принципиальная возможность транспортировки руды до устья р. Анабар и далее водным транспортом до Красноярска.

Эксплуатация этого месторождения уже на первом этапе позволит отказаться от импорта в Россию ниобия и редких металлов, а в перспективе, даже превратить Россию в крупного игрока на мировом редкометалльном рынке наравне с Китаем и Бразилией.

Немаловажно и то, что реализация этого проекта обеспечит поддержку геополитических интересов России в освоении сибирского Севера и арктического региона в целом, вдохнет новую жизнь в эти пока малоосвоенные обширные территории нашей страны. С началом освоения Томторского месторождения появится возможность использовать в Якутии кластерную модель промышленного развития региона, с вовлечением расположенного в 150 км к западу от Томтора Попигайского месторождения лонсдейлитов (сверхплотной модификации алмаза) и месторождений углеводородов.

В любом случае, при условии интенсификации экономического роста России и возрастания потребности отечественного рынка в редких элементах, в самом ближайшем будущем альтернативы освоению Томторского месторождения не существует. Этот проект естественным образом должен стать частью и залогом успешной реализации программы роста и инновационного развития самых современных отраслей народного хозяйства страны.



Литература

Кравченко С. М., Беляков А. Ю. Новичок среди гигантов // *Природа*. 1992. № 4. С. 50–55.

Кравченко С. М., Беляков А. Ю., Кубышев А. И., Толстов А. В. Скандиево-редкоземельно-иттриево-ниобиевые руды – новый тип редкометалльного сырья // *Геология рудных месторождений*. 1990. Т. 32, № 1. С. 105–109.

Лапин А. В., Толстов А. В. Новые уникальные месторождения редких металлов в корах выветривания карбонатитов // *Разведка и охрана недр*. 1993. № 3. С. 7–11.

Толстов А. В. Проблемы геолого-экономической оценки Томторского месторождения: *Материалы Междунар. симпозиума «Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов в XXI веке»*. М., 1998. С. 135–137.

Толстов А. В. Проблемы оценки и освоения ниобий-редкоземельных руд Томторского месторождения: *Материалы XIV Междунар. совещ. по геологии россыпей и кор выветривания*. Новосибирск, 2010. С. 656–660.

Эрлих Э. Н. Новая провинция щелочных пород на с-в Сибирской платформы // *Зап. ВМО*. 1964. Т. 93, № 6. С. 682–693.

Дорога к Томтору

История открытия месторождения



История открытия богатейшего месторождения редких элементов Томтор на севере Якутии длинная и непростая. Прошло более пятидесяти лет с момента первых находок обломков щелочных пород до того, как планомерные работы по исследованию гигантского массива щелочных пород позволили обнаружить на Томторе руды с поразительно высокой концентрацией ниобия и других редких элементов

ЭРЛИХ Эдуард Натанович – кандидат геолого-минералогических наук. Выпускник Ленинградского горного института им. Г. В. Плеханова. В 1958—1962 гг. проводил геологическую съемку и поисково-оценочные работы в алмазонасыщенных районах северо-западной Якутии. В 1970-х гг. в качестве главного геолога Научно-исследовательского института геологии Арктики (Ленинград) руководил работами, приведшими к открытию редкометалльного и редкоземельного месторождения на массиве Томтор. В 1983 г. эмигрировал в США, где работал по грантам Национальной научной ассоциации и контрактам с геологической службой США и Смитсоновским институтом, а также консультантом горно-рудных компаний. Автор свыше 150 научных работ и монографий

Ключевые слова: Томтор, редкоземельная минерализация, карбонатиты, история открытия.
Key words: Tomtor, rare-earth mineralization, carbonatites, history of exploration

© Э. Н. Эрлих, 2013

Вся история открытия Томтора укладывается во временной интервал между двумя фотографиями. На первой я, будучи в 1959 г. начальником поисковой партии, сообщаю по радию, что мы нашли крупнейший массив ультраосновных-щелочных пород, названный нами Томтором; на второй, сделанной в конце 1990-х, тайгу прорезают просеки вдоль буровых профилей, на которых стоит готовое к бурению оборудование.

Результаты разведки выявили одно из богатейших редкометалльных месторождений, сравнимое с мировыми гигантами. О том, насколько богаты руды лишь одного участка Томтора, названного Буранный, рассказано в статье А. В. Толстова, помещенной в этом же номере журнала.

Рождение имени

Ходит легенда о том, что присутствие в районе Томтора многочисленных неокатанных обломков ультраосновных-щелочных пород было известно задолго до наших работ. Это совершенно не так! Первая находка таких обломков была сделана С. А. Гулиным в 1958 г.

Мы были приятелями с первого курса Горного института. Вместе проходили производственную практику в Средней Азии. Два-три последних года студенческой жизни мы были неразлучны. Нас даже упрекали в том, что мы «отрываемся от коллектива». Среднего роста, плотного сложения, круглолицый и темноволосый, острый на язык, он привлекал быстротой реакции на все. Яркий, веселый, взрослее всех нас, еще в студенческом возрасте любил женщин и был неотразим для них, занимался мужественными видами спорта – горными лыжами и мотогонками. У него был зоркий, внимательный глаз, его наблюдения были точны, и он не останавливался на описании фактов, а шел до конца в их анализе. Так уж сложилось, что после окончания Горного некоторые решающие события в моей профессиональной жизни оказались напрямую связаны с Гулиным.

Найденные Сергеем образцы начальник нашей экспедиции, Е. Я. Радин, показывал другим начальникам партий и спрашивал: «Что это такое?» Для меня, воспитанника ленинградской геологической школы, все было очевидно – это породы, типичные для Хибинского массива Кольского полуострова. Позднее они были названы «рисчорритами», по месту их первого описания на горе Рисчорр. Сергей Гулин находил их в нижнеюрских конгломератах, а сами конгломераты считал источником щелочных пород.

В тот период никаких крупных массивов щелочных пород в этом районе не было найдено. Сергей описал лишь небольшие *дайки* и *силлы* измененных ультраосновных пород и одно обнажение нефелиновых сиенитов на реке Онгкучах. Также он открыл Уджинскую антиклиналь и в ее пределах богатое редкометалльное оруденение. А открывать Томтор он оставил нам – по семейным обстоятельствам в 1959 г. ему пришлось уехать на Чукотку.



1959 г. Э. Н. Эрлих докладывает по радию об обнаружении крупнейшего массива ультраосновных-щелочных пород – будущего Томтора. Фото Е. Каменева

Конец 1990-х: тайгу прорезали просеки буровых профилей. По результатам бурения были оценены запасы руды в месторождении. Фото из архива А. Толстова





С. А. Гулин – первооткрыватель
редкоземельной минерализации
в Уджинском р-не.
По: (Эрлих, 2006)



Массивы нефелиновых сиенитов были открыты лишь год спустя, при геологической съемке масштаба 1:200 000. Как только сошел снег и мы начали маршруты, ежедневные сводки результатов геологических наблюдений показали присутствие обломков пород «хибинского» типа. Чтобы не пропустить чего-либо существенного, расположили сетку маршрутов перпендикулярно вероятной продольной оси сложенного этими породами магматического тела. Внимательный просмотр рельефа этого участка показал, что низкие гряды плоских холмов именно и только в этом районе образуют серию дуг, смыкающихся на высоте, называемой Томтор-Тааса, что в переводе с якутского означает «каменный бугор».

Дуговая форма сразу насторожила. Большая часть известных в мире массивов типа Кольских Хибин и Ловозера образуют кольцевые комплексы, сложенные серий дугообразных тел. Так родилась рабочая гипотеза о кольцевой форме массива, которому мы дали имя Томтор. Идея эта была достаточно спокойно принята всеми.

Каково же было мое изумление, когда много лет спустя в период буровых работ скважина, пройденная почти в центре массива на озере Боронгко, вскрыла вместо нефелиновых сиенитов верхнерифейские доломиты. Против фактов, как говорится, не попрешь, и пришлось рисовать не правильную кольцевую, а уродливо обрубленную структуру. И лишь еще год спустя, когда из-за аварии тягача буровая стала еще западнее озера Боронгко, и была отдана классическая команда «бурите, где стоите», мы с радостью убедились, что кольцевая структура полностью подтвердилась.

Доломиты на предыдущей скважине были, по-видимому, связаны с крупным включением пород кровли в интрузивных породах массива.

На этом фоне просто смешно и неприятно читать высказывания С. М. Кравченко (Кравченко, Беляков, 1992) о том, что Томтор был найден им и им же было предсказано наличие в его пределах богатой ниобиевой минерализации. И даже саму поездку эту он воспринял как подвиг, говоря об ужасной удаленности массива.

Но этого мало: пока Саша Толстов и его товарищи бурили и проводили опробование на Томторе, он (Кравченко) написал статью о его рудоносности в самый престижный американский журнал «Economic Geology». В результате, когда несколько лет спустя мы с Сашей отправили в тот же журнал статью о результатах наших работ, то получили ответ, что журнал публикует только свежую информацию. Может, «воровством» это назвать слишком, но одно ясно: человеку понятие «этика» не знакомо вообще.

Война за независимость

После первого этапа поисков в исследовании Томтора наступил длительный перерыв. Поисковые работы продолжались лишь спустя много лет, в 1973 г. На оценку возможных запасов руды влияли два фактора. Первый – размеры массива: если Томтор по составу сходен с Хибинами, то выходит, что он по величине является третьим в мире массивом этого типа после самих Хибин и Ловозерья. И, значит, запасы руд здесь могут быть того же порядка.

Второе – большое значение имел характер нефелиновых сиенитов. Почему мы говорили о сходстве с Хибинами? Относительно недалеко, к западу от Анабарского щита, расположена большая Котуй-Маймечинская провинция ультраосновных-щелочных пород, и в то время у некоторых исследователей был соблазн описать Томтор как ее составляющую. Но нефелиновые сиениты там принадлежат к миаскитовому типу, в то время как для Хибин и Ловозерья характерны так называемые агапитовые нефелиновые сиениты, и, что важно, массивы хибинского типа всегда без исключения содержат богатую минерализацию в отличие от сформировавшихся в более позднее время котуй-маймечинских. Главным оппонентом по этим вопросам выступил крупнейший в НИИГА авторитет – Л. С. Егоров, исследовавший Котуй-Маймечинскую провинцию. Он считал, что Томтор является ее частью и имеет строение и генезис, сходные с развитыми там массивами. Своеобразие Уджинской провинции и была посвящена моя статья в журнале «Записки ВМО» (Эрлих, 1964).

Строго говоря, выдвигаемые им сомнения по поводу нашей теории были законны. В самом деле, для пород Хибин характерны повышенные содержания циркония, которых на Томторе не отмечалось. Защищая своеобразие Томтора, я ссылаясь на единственную радиометрическую датировку флогопита, сделанную нами калий-аргоновым методом, возраст которой был на 200 млн лет древнее возраста пород Котуй-Маймечинской провинции. Егоров ссылаясь на ненадежность единичных определений. И, наконец, при ссылках на необычность размера массива при обсуждении его генезиса он просто разводил руками: «Это не довод».

Однако несмотря на свои же возражения, Егоров все-таки поместил в редактируемом им сборнике статью Г. Н. Поршнева и Л. Л. Степанова (Поршнев, Степанов, 1980). А впоследствии опубликовал еще одну работу, посвященную Уджинской провинции, где вместе со Степановым уже вошел в число соавторов (Егоров и др, 1985).

База партии НИИГА на Удже,
1974 г. Э. Н. Эрлих перед поездкой
с полевым отчетом в Амакинскую
экспедицию. Благодаря этому
отчету работы продлили еще
на год, и в результате был открыт
массив Томтор, а впоследствии
и богатейший участок
редкометалльных руд Буранный.
Фото Л. Харитоновой





Вся ситуация была создана не нами, а уродливыми соотношениями науки и производства. Л. Л. Степанов, начальник производственной партии, мечтал о благословении большого ученого (каковым Егоров и был), а Егорову нравилась роль руководителя работ на Удже (хотя он таковым не являлся). По мнению Степанова (2002), Леонид Сергеевич выступил как бы в роли отца-покровителя, поздравляя нас с открытием Томтора. В итоге он поставил себя точно в такое же положение, что и Кравченко. При всех возражениях тщеславие брало верх над научной принципиальностью.

Открытие Томтора потребовало изменения тактики поисковых работ. Ранее все они ориентировались на вскрытие линейных зон редкометалльной минерализации, теперь сосредоточивались в пределах самого массива, поскольку естественным было полагать, что формирование Томтора генерирует фосфорную и редкометалльную минерализацию (Эрлих, 2006).

Эволюция основных геологических идей о процессах формирования Томтора изложена в моей статье в журнале «Звезда» (2006).

Ядро массива

Центральная и западная части Томтора скрыты под плащом осадочных пород. Для расшифровки строения этих площадей были необходимы геофизические работы. Начало им положила аэромагнитная съемка масштаба 1:50 000, проведенная геофизиками НИИГА под руководством А. М. Карасика. По данным этой съемки, магнитные аномалии образовывали систему концентрических дуг. Высокая интенсивность аномалий свидетельствовала о том, что они связаны с телами чистого магнетита. Результаты гравиметрических работ,

В эпоху разведки в конце 1990-х гг. в дело пошли иные ресурсы и иная техника: буровые станки, тягачи, автотранспорт, жилые балки, специально приспособленные для работы и жизни при температуре ниже -50°C .

Фото из архива А. Толстова

проведенных геофизиками Амакинской экспедиции, показали, что ядро массива сложено комплексом легких и немагнитных пород. Из этого следовал логичный и непротиворечивый вывод: ядро Томтора сложено карбонатитами. Если эта гипотеза верна, то перед нами гигантское карбонатитовое тело, диаметр которого на порядок превышал размеры крупнейших карбонатитовых массивов мира.

В своих воспоминаниях Л. Л. Степанов (2002) пишет, что нам в 1973 г. все было непонятно, что «партия гудела», якобы потеряв ориентировку, и не знала, какой гипотезой о строении Томтора руководствоваться при поисках. Если бы это было так, меня следовало бы уволить за профессиональное несоответствие должности. Для меня карбонатитовый характер ядра массива был очевиден.

Первым успехом при бурении стало обнаружение дайкообразных тел, сложенных сплошными магнетитами. Перед нами было месторождение железных руд типа знаменитой шведской Кируны. Само это небольшое месторождение в условиях арктических районов никакого интереса не представляло, но оно отвечало на вопрос о составе ядра массива. С моей точки зрения, самыми важными были участки керна, сложенные карбонат-магнетитовыми агрегатами со слюдой и апатитом.

Это был комплекс минералов, характерных для пород, ассоциирующихся с карбонатитами, так называемых фоскоритов. Фоскориты располагались совместно с дайками якупирангитов. Состав этих прожилков также подтверждал гипотезу о том, что в центральной части массива мы должны ожидать карбонатиты.

Следующий год был годом бурения в пределах карбонатитового ядра. Теперь прогноз рудоносности был уверенным – с карбонатитами всегда без исключения ассоциируются крупные месторождения редких металлов.

Как открываются месторождения

История открытия массива Томтор, если к ней подходить непредвзято, очень поучительна. Она почти диаметрально противоположна истории открытия алмазных месторождений Сибири. Речь идет о том, как решался главный вопрос, возникающий при поисках любых месторождений, в случае алмазных – с телами каких пород ассоциируются алмазы. Ко времени



Обстановку в партии в этот период точно обрисовал в своих воспоминаниях тот же Степанов, приведя рассказ нашего руководителя буровых работ П. И. Ромашко о том, как я постоянно говорил ему о городах, которые вырастут тут, на Томторе, по следам наших буровых работ. Именно в это время у меня случился инсульт, и наполовину парализованного меня вывезли на спецрейсе. Болезнь вывела меня из строя, но отчет я написал и вышел защищать сам. Дело было уже сделано.

начала работ в Сибири он был уже решен южно-африканскими геологами. В России надо было просто применить эти идеи к местным условиям. Но даже после того, как А. А. Кухаренко установил идентичность найденных в Сибири пиропов подаренным африканским эталонам, поиски алмазов продолжались в соответствии с моделью ассоциации месторождений с магматическими формациями «уральского» типа. А. Г. Х. Файнштейн называл сам термин «кимберлит» выдумкой космополитов.



Пришла настоящая техника: тяжелые тягачи ГТТ с каротажной станцией проводят геофизические исследования. Фото из архива А. Толстова



Эра палаток кончилась с наступлением эпохи разведки: трактора тащат на место нового лагеря балки, в которых будут жить работники буровых бригад. Фото из архива А. Толстова



Два «побратима по Томтору» в 2003 г. на Международной кимберлитовой конференции (г. Виктория, канадская провинция Британской Колумбии). Слева А. В. Толстов, справа – Э. Н. Эрлих. Фото из архива А. Толстова

На Томторе главным было признать очевидные факты, с которыми мы столкнулись. В этой статье я постарался рассказать о нашем непростом пути и о борьбе за идеи, которые в итоге и позволили открыть месторождение.

Надо отметить, что путь открытия карбонатитового ядра массива был совершенно аналогичен пути открытия Талнаха и трубки Мир (Эрлих, 2013) – перешагивая через недостающие факты, методом проб и ошибок, с постоянной корректировкой рабочей гипотезы.

По описанию Л. Л. Степанова (2002), работа партии распалась на части – вездеходчики вели вездеходы, буровики бурили, геофизики делали измерения. Но месторождения не открываются в результате простой совокупности элементарных действий. Всегда необходим качественный скачок, приводящий к созданию модели рудообразования. При этом надо «перешагнуть» через недостаток фактов. И, что очень важно, кто-то должен принять на себя ответственность за гипотезу, как говорится, поставить «на кон» свою профессиональную репутацию.

В случае с карбонатитовым ядром Томтора этим человеком стал я. Соображения и выводы, подтверждающие гипотезу о строении массива, были доложены тогдашнему главному геологу Амакинки Е. Черному с просьбой продлить работы еще на год. Он пошел нам навстречу, и этот дополнительный год сыграл решающую роль.

Совершенно противоположным был путь открытия участка сверхбогатых руд Буранного: в этом случае основная теоретическая дорога была уже проложена. Очень показательное описание этого открытия оставлено А. В. Толстовым. Все происходило как при артиллерийской «стрельбе на поражение»: сгущали сеть буровых скважин и таким образом оконтуривали участок особо богатых руд.

Надо отдать должное Толстову: судя по заметкам, его все время не покидала мысль о значимости найденного месторождения, в частности, о том, как избавить страну от экспорта редких металлов. Начиная с 1986 г. он выступил на различных конференциях, где говорил о ниобии, о редких землях лантан-цериевой группы, упорно доказывая огромную важность этого гигантского месторождения общественности и ученым.

Литература

Белоусов В. И. Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование // <https://sites.google.com/site/geyzeruzon/kaldera-uzona/-istoria-issledovaniya> / науч. ред. Э. Н. Эрлих.
 Егоров Л. С., Сурина Л. П., Поршнев Г. И. Удзинский рудно-магматический комплекс ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов // Рудно-магматические комплексы с-з Сибирской платформы и Таймыра. (город): М.: Мингео СССР, ПГО «Севморгеология», 1985. С. 138–154.
 Кравченко С. М., Беляков А. Ю. Новичок среди гигантов // Природа. 1992. № 4. С. 50–55.
 НИИГА – ВНИИОкеангеология 50 лет научного поиска. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. 127 с.
 Поршнев Г. Н., Степанов Л. Л. Геологическое строение и фосфатность массива Томтор // Щелочной магматизм и апатитность севера Сибири. Л.: Недра, 1980. С. 84–101.
 Степанов Л. Л. Полярники пишут сами (юбилейные воспоминания, посвященные 40-летию ПМГРЭ). СПб., 2002.

Эрлих Э. Н., Белоусов В. И. Геолого-петрологические проблемы геотермии // <https://sites.google.com/site/geobelousov/geotermia>.

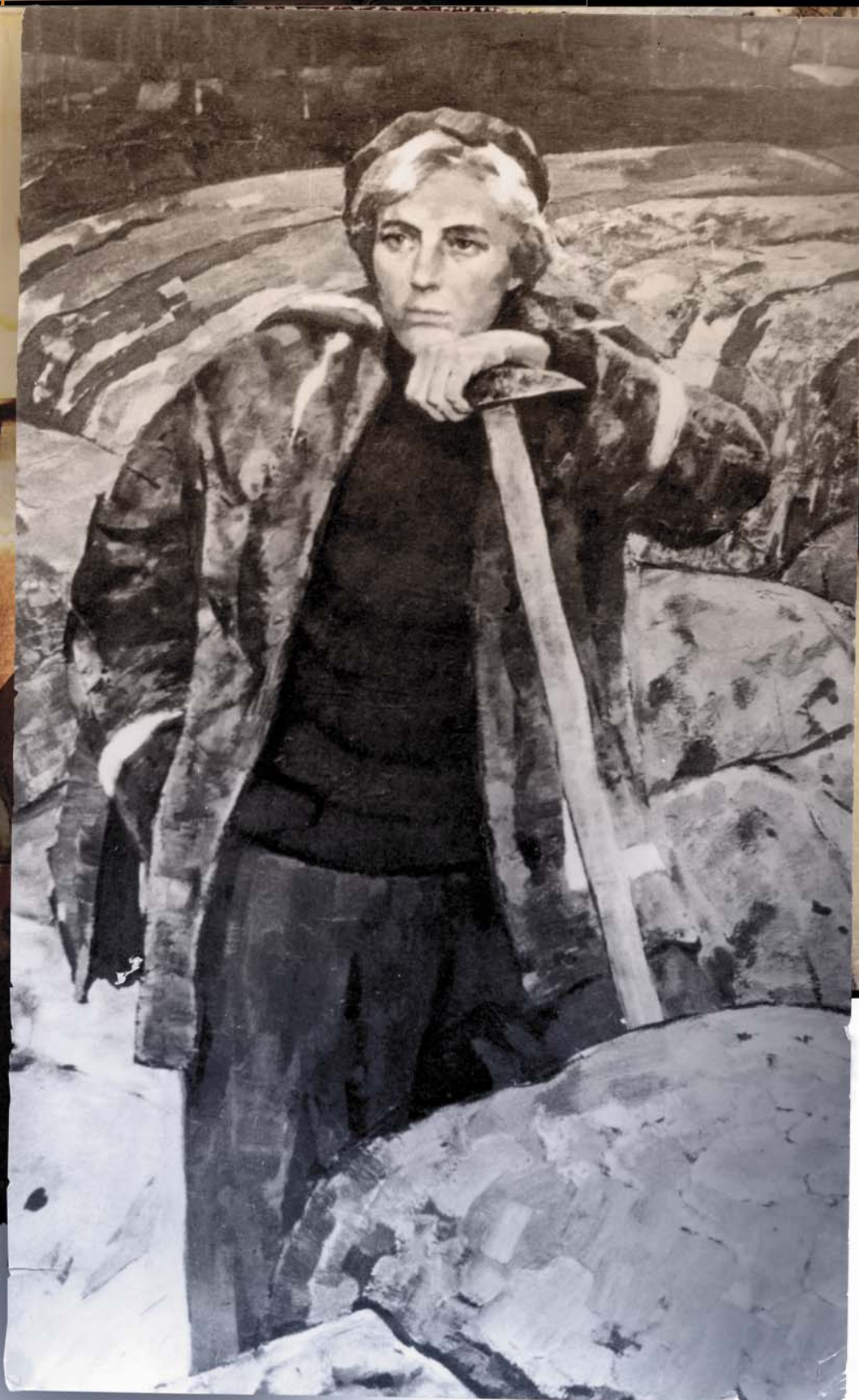
Эрлих Э. Легенды Томтора (к истории открытия). Были и байки НИИГА-ВНИИОкеангеология (1948-2008). СПб.: Изд. ВНИИОкеангеология, 2012. С. 394–400.

Эрлих Э. Н. Найти месторождение // Звезда. 2006. № 12.

Эрлих Э. Месторождения и История // <https://sites.google.com/site/vulkaniceskaageologia/home/mestorozdenia-i-istoria>, 2013.

Эрлих Э. Н. Новая провинция щелочных пород на северо-востоке Сибирской платформы // Записки ВМО. 1964. Т. 93, № 6. С. 682–693.

Эрлих Э. Н. Очерки геологии островных дуг // <https://sites.google.com/site/vulkaniceskaageologia/home/ocerk-i-ostrovnyh-dug>.



Э.Н. ЭРЛИХ

Портрет Ларисы Попугаевой.
Художник
Б. Корнеев, 1963 г.
Фото из
Минералогического
музея кафедры
минералогии Санкт-
Петербургского
государственного
университета

© Э.Н. Эрлих, 2013

ОТКРЫТИЕ ЗАРНИЦЫ — начало сибирских алмазов

Хотя первые алмазы были найдены в России еще полтора столетия назад, история промышленной алмазодобычи в нашей стране началась лишь в середине прошлого века с открытия богатейших коренных кимберлитовых месторождений в Якутии. Первую кимберлитовую трубку в России в 1954 г. открыла геолог Лариса Попугаева. Ее название – «Зарница» – оказалось символичным: вслед за ней были найдены десятки кимберлитовых тел, среди которых оказалось много алмазоносных. С историей открытия кимберлитовых трубок Якутии читателей знакомит геолог Эдуард Эрлих, один из открывателей редкометалльного месторождения Томтор, автор научно-популярных публикаций и книги по истории знаменитых месторождений. В конце 1950-х гг. он сам участвовал в поисково-оценочных работах на северо-западе Якутии, а его кандидатская диссертация была посвящена структурному контролю якутских кимберлитов

История целенаправленных поисков алмазов в советское время началась в 1938 г., когда сотрудник Геологического института А. П. Буров написал докладную записку, рекомендуя постановку тематических работ по сравнению геологии алмазоносных областей мира с геологией отдельных районов СССР. В тему был включен и В. С. Соболев. Он, будучи еще молодым геологом, первым сделал петрографическое описание огромных полей базальтов (*траппов*) Сибири и в 1941 г. по результатам работы по этой теме представил в Геолком отчет, в котором говорилось о сходстве геологического строения Южно-Африканской и Сибирской платформ. Однако сам Владимир Степанович, по крайней мере до 1957 г., никогда не претендовал на то, что он дал прогноз алмазоносности.

Надо отметить, что еще в 1929 г., крупнейший исследователь Арктики Н. Н. Урванцев привез образец породы мелилитового базальта, ассоциирующийся с кимберлитами, позже описанный Г. Г. Моором. В 1937–1941 гг. Моор опубликовал серию статей с описаниями редких ультраосновных-щелочных пород севера Сибири. В них он впервые в российской печати употребил термин «кимберлит». Он же впервые сказал о том, что север Сибирской платформы перспективно алмазоносен. Именно Моор на Международном геологическом конгрессе в 1937 г. (Москва) впервые обратил внимание на сходство геологических ситуаций на Южно-Африканской и Сибирской платформах. В. С. Соболев использовал эти материалы также и в своих докладах на Госплане в 1941 г.*

* В совместной публикации В. С. Соболева и Г. Г. Моора (Моор Г. Г., Соболев В. С. К вопросу о сибирских кимберлитах // Минер. сб. Львов. геол. о-тва. Львов, 1957. № 11) утверждалось, что идею об алмазоносности севера Сибирской платформы выдвинул В. С. Соболев, но так как он не высказал ее в то время в открытой печати, она была использована в публикациях Г. Г. Мора в 1940–1941 гг.

Ключевые слова: кимберлиты, алмазы, история поисков, Амакинская экспедиция, Сарсадских, Попугаева.
Key words: kimbelites, diamonds, history of exploration, Amakinsky expedition, Sarsadskikh, Popugayeva





Лариса Анатольевна Попугаева (Гринцевич) – геолог, нашедшая первую в России алмазосносную кимберлитовую трубку Зарница.
Фото из Минералогического музея кафедры минералогии Санкт-Петербургского государственного университета

Над геологами-алмазниками, работавшими в Сибири, долгое время тяготела модель ассоциации месторождений с магматическими формациями «уральского типа». Отчеты 1948–1952 гг. геологов Амакинской экспедиции, включая ведущего геолога-алмазника Г. Х. Файнштейна, основывались на идее ассоциации алмазов с минералами траппов. И самую большую находку на так называемой Соколиной косе на Вилюе связывали с ильменитом и пироксеном, т. е. типичными минералами трапповой ассоциации. Это влекло за собой признание основными поисковыми признаками присутствие в пробах таких минералов, как хромит и самородная платина.

Долгие споры вокруг разных моделей коренных месторождений алмазов самым решающим образом сказались на выборе методов поиска. Важнейшим шагом в создании методики поиска было осознание того, что возможными источниками алмазов должны быть кимберлитовые трубки. Это в свою очередь вело к признанию ведущим поисковым признаком присутствие в шлиховых пробах определенного комплекса минералов, в частности граната – пиропы. Пиропы, ассоциирующиеся с алмазосносными кимберлитами, составляют часть непрерывного ряда минералов: от железистых гранатов – альмандинов, связанных в основном с метаморфическими породами, до собственно кимберлитовых магнезиальных гранатов – пиропов. Красная цепочка пироповых зерен в шлиховых пробах вела исследователей прямо к цели.

Открытие алмазных месторождений в Сибири стало возможным благодаря созданию так называемого пиропового метода поиска кимберлитов. Разработка этого метода для условий Сибири и применение его на прак-

тике – очевидная заслуга минералогов Центральной экспедиции ВСЕГЕИ во главе с Н. Н. Сарсадских. Она отстояла этот метод в многолетней борьбе со сторонниками ассоциации алмазов с минералами траппов. С тех пор как Амакинка официально признала этот метод, открытие трубок стало во многом делом техники, и их стали находить по десятку за полевой сезон.

Говоря о сибирских алмазах, нельзя не рассказать о Ларисе Анатольевне Попугаевой – женщине-геологе, открывшей первую в России кимберлитовую трубку, названную «Зарницей». Окончив Ленинградский университет в 1950 г., она поступила на работу геологом в Центральную экспедицию ВСЕГЕИ. Для меня, как и для многих, она была только именем – Лариса Попугаева, женщина из легенды. Поэтому мне пришлось обратиться к воспоминаниям работавшей в НИИГА минералога-алмазника Инны Федоровны Гориной, хорошо знавшей ее в студенческие годы, и позднее – в решающем 1954 г., когда была открыта первая трубка.

Судьба всегда для разных ключевых моментов точно подбирает знаковые персонажи. Лариса Анатольевна тоже была, несомненно, знаковой фигурой. Красивая, обаятельная, похожая сразу на всех тогдашних кинозвезд и при ангельской внешности и хрупкости подчеркнута грубоватая, с хрипотцой от курева голосом. Романтичная, целеустремленная, дотошно трудолюбивая и настойчивая. Училась лучше всех. Смешно звучит неоднократно повторенное Н. Н. Сарсадских обвинение в том, что она даже по компасу ходить не может. И еще к ее «знаковости» – отца Ларисы расстреляли в 1937 г.

К полевому сезону 1954 г. метод поисков по пиропам применялся уже в большинстве партий Амакинской экспедиции. Его же должен был использовать отряд ВСЕГЕИ, направленный для прослеживания источников минералов, найденных в шлиховых пробах в 1953 г. Дальнейшее было делом техники.

Лариса Попугаева с лаборантом Федором Беликовым поехали в поле, где начали промывку шлихов на р. Далдын и ее притоках. Они следили за распределением минералов-спутников алмазов в пробах, взятых вдоль по течению ручьев, пока минералы не исчезли. Тогда они стали брать пробы на склоне и вышли на элювиальные, т. е. практически не смещенные выходы разложенных выветриванием кимберлитов. Это и была первая найденная в Сибири кимберлитовая трубка.

Говоря о том, что к моменту выезда отряда Попугаевой в поле поиск трубки стал чисто технической задачей, я ничуть не умаляю трудностей и значения находки первой кимберлитовой трубки. Просто район ее возможного расположения и метод поисков были уже определены. Оставалось то, что обычно представляется непосвященным людям так называемой романтикой

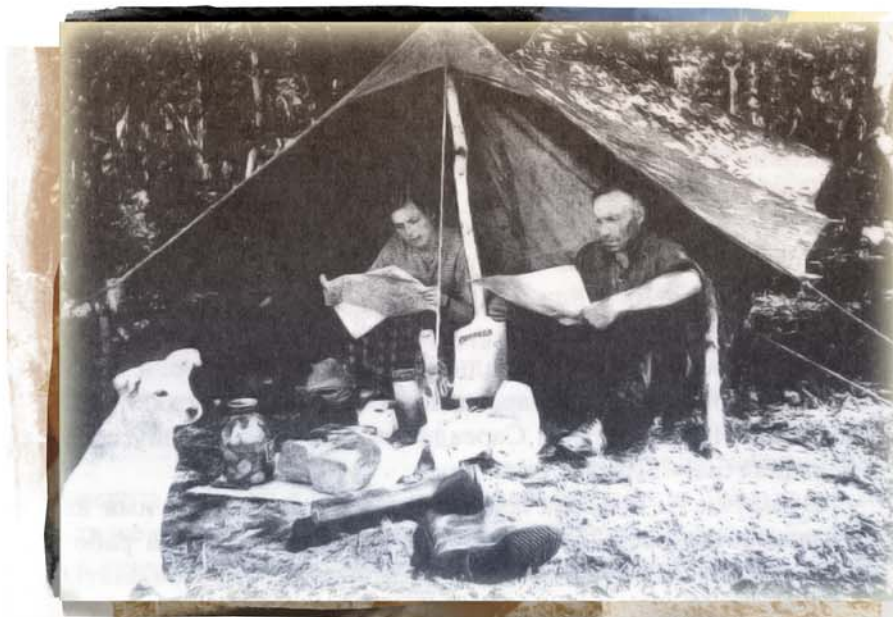


Академик В. С. Соболев, 1968 г.
Во многом благодаря именно его трудам на Сибирской платформе были обнаружены алмазы.
Фото из архива Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Новосибирск)

ОТ РЕДАКЦИИ

«...В феврале 1941 г. по инициативе А. П. Булова в отделе минеральных ресурсов Госплана СССР в Москве состоялось специальное совещание, обсуждавшее проблему поисков алмазов. Наряду со специалистами, непосредственно работавшими в учреждениях Комитета по делам геологии, в работе совещания принимал участие А. Е. Ферсман, горячо поддержавший высказанные идеи. Одним из основных пунктов постановления совещания было предложение проводить поисковые работы в северной части Сибирской платформы, и в частности в бассейне Вилюя» (Соболев В. С. Избранные труды. Петрология верхней мантии и происхождение алмазов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. С. 8).

«...Однако настоящий успех был достигнут тогда, когда обратились к старому классическому приему, распознав типичные спутники – кимберлитовые гранаты. И по гранатовой дорожке подошли (Н. Н. Сарсадских, Л. А. Попугаева) к первой якутской трубке, которой дали поэтическое название «Зарница». Как это часто бывает, после первой находки трубки открывались одна за другой. Н. В. Кинд уже осенью 1954 г. вплотную подошла к трубке Мир, первый образец с которой следующим летом был доставлен Ю. И. Хабардиным. В Далдынском районе В. Н. Щукиным была найдена трубка Удачная» (Соболев В. С., 1989. С. 9)



Л.А. Попугаева с лаборантом Ф. А. Беликовым.
Полевой сезон 1954 г.
По: (Эрлих, 2006)

ОТ РЕДАКЦИИ

«...В 1940 г. был представлен отчет по первой части разрабатываемой темы, охватывающей кроме всей территории Африки также месторождения районов территорий о. Борнео, Австралии и Северной Америки. Этот отчет хранился в фондах ВСЕГЕИ и был доступен всем геологам, занимающимся поисками месторождений алмазов, а частично даже использован в публикациях В. С. Трофимова. Сам отчет был почти полностью, с небольшими сокращениями, опубликован в виде отдельной монографии лишь в 1951 г., когда в Сибири уже было найдено большое количество алмазов в россыпных месторождениях бассейна Вилюя. А вместе с тем одним из основных выводов этого отчета было следующее заключение: „Наибольшее сходство с областью распространения кимберлитов Южной Африки имеет Сибирская платформа. Это сходство еще увеличивается в связи с открытием автором на полуострове Таймыр и Г. Г. Моором (при консультации автора) в районе р. Хатанги щелочных основных пород типа лимбургита, авгитита и альнеита, близких к мелилитовым базальтам Южной Африки, сопровождающим кимберлиты. Вопросам поисков кимберлитов и алмазов должна уделять серьезное внимание каждая экспедиция, работающая на севере Сибирской платформы. Особенно нужно обратить внимание на поиски алмазов в разрабатываемых россыпях благородных металлов в районе Норильска и на Вилюе“». (Соболев В. С. Избранные труды. Петрология верхней мантии и происхождение алмазов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. С. 7)

ближайшую базу Яралинской экспедиции НИИГА, чтобы проверить это на рентгеновской установке.

И. Ф. Горина вспоминает: «Так вот, в Яралинке мы с ней тепло встретились. Нас роднило все: и университет, и общая кафедра, и один главный учитель – Кухаренко, и общее алмазное дело, которому нас учил Александр Александрович. Вот только не осталось у меня в памяти чувства триумфа у Ларисы, была у нее еще неуверенность, ей очень важно было подтвердить алмаз на нашем рентгене». Она дорого заплатила за этот визит...

Значение находки было исключительно велико – она привела к открытию всех коренных алмазных месторождений Сибири. Правильнее всего значение находки было оценено начальником алмазной лаборатории М. А. Гневушевым, который и предложил дать трубке вошедшее в историю название Зарница, по определению означающее «отдаленная мгновенная вспышка на небосклоне, отблеск молнии дальней грозы». Открытие этой первой трубки действительно, как зарница, озарило открытие богатых алмазами трубок Мир, Айхал, Удачная, Сытыканская и других, составивших славу алмазной промышленности России. Лишь последующим опробованием 1955–1958 и 1977–1982 гг.



Л. А. Попугаева, 1950-е гг.
Фото из Минералогического музея кафедры минералогии Санкт-Петербургского государственного университета

было установлено промышленное содержание алмазов в самой Зарнице, и в 1983 г. она была зачислена, наконец, в разряд месторождений. Зарница стала одной из многочисленных убого алмазоносных трубок, составивших резерв страны. Ее разработка началась только в 2000 г.

Признание кимберлитовых трубок основным потенциальным источником алмазов Сибири, «легализация» метода их поисков по минералам-спутникам, открытие Зарницы сделали находки всех последующих трубок рутинным процессом. Недаром после того как НИИГА срочно решил вернуться в район найденного Забурдиным выхода туфов, описанных Черепановым как кимберлиты, стало почти нормой, что партия, ведущая геологическую съемку в районе среднего течения р. Оленек, находила в год от трех до пяти кимберлитовых трубок. Большая их часть содержала мало алмазов, но это уже был вопрос удачи. Известно ведь, что из ста кимберлитовых трубок лишь единицы содержат алмазы в промышленных количествах. Рутинность поисков, обеспечившая успех дальнейших открытий, не умаляет их трудности, но это уже трудности технические. Принципиальная основа открытия была сделана.

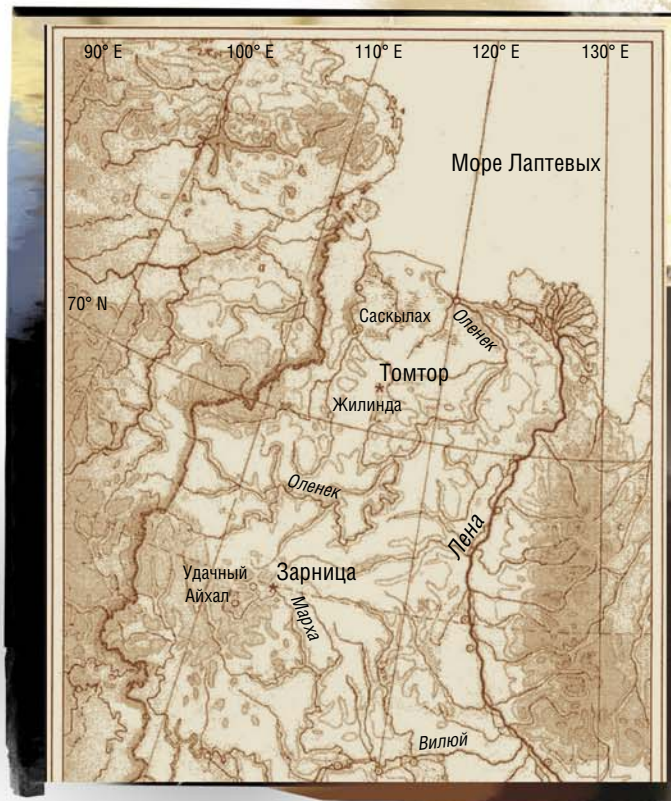
И еще одна группа действующих лиц в полной мере оценила значимость открытия – чиновники Амакинской экспедиции. Острым чутьем опытных администраторов-аппаратчиков они хорошо поняли значение грядущего события еще в момент, когда Попугаева с Беликовым брали пробы по никому дотоле не известному ручью, названному ими Шестопаловкой, по имени начальника Центральной экспедиции (сегодня это ручей Дьяха).

В 1986 г. по устным рассказам я описал, как руководство Амакинской экспедиции вымогло у нашедшей трубку Зарница Ларисы Попугаевой заявление о переходе в Амакинку, датированное маем того же года, то есть ДО находки. Тогда мне была неизвестна статья Р. Юзмухаметова «Кража века», опубликованная в 1992 г. в газете «Мирнинский рабочий». Впоследствии тот же автор опубликовал небольшую книгу «Звездный час и трагедия Ларисы Попугаевой», в которой документально описал эту чисто уголовную историю.

Нет, Попугаеву не сажали в лагерь, ей не грозил расстрел, как ее отцу в 1937-м. Времена были другие.



Женщина остается женщиной даже в поле. Минералог Н. Н. Сарсадских – одна из первооткрывателей алмазных месторождений в Сибири. По: (Эрлих, 2006)



Карта алмазоносных районов Якутии. Звездочками отмечены трубка Зарница и массив Томтор. По: (Эрлих, 2006)

работы геолога: маршрут по тайге, отбор проб, внимательный их просмотр и самое важное – принятие решения, когда выходить из русла ручья на склон. Это точно передал Федор Беликов: «Следующий день мы провели на этой сопке, а на другой вышли к небольшой низменности, поросшей невысокими и редкими лиственницами. К обеду прошел дождь. У нас был брезент, и мы залезли под него. Чтобы согреться, я решил разжечь костер и нагреть большой камень, чтобы он накалился и послужил нам печкой. Разжег костер, пригласил Нелю * погреться на камне под брезентом. Она села и вдруг как вскочит, схватившись за лупу: „Смотри, Федюня, голубая глина и вся в пиробах!“»

Интересно отметить, что сама Попугаева сначала не посчитала найденный участок алмазным месторождением. В записке, оставленной на этом месте, она писала об «остатках очень богатого ильменито-пиропового и, возможно, алмазного месторождения». Уверенности, однако, в том, что среди минералов во взятых пробах присутствует алмаз, не было. И Лариса решила посетить

* По желанию отца, он сам и все близкие звали Ларису Нелей, так как имя Нинель справа налево читается как Ленин

Ее лишь шантажировали, вымогая написать заявление о переходе в Амакинскую экспедицию, чтобы присвоить ее открытие. Напоминая о репрессированном отце, ее пытались обвинить в незаконном вывозе алмазов. Терявшаяся в догадках руководительница Попугаевой Н. Н. Сарсадских позже писала: «Шло время, мне нужно было сдавать отчет по теме, и я стала писать в Нюрбу, в Москву, вплоть до ЦК КПСС, чтобы вернули сотрудника и полевые материалы». Надо ли говорить, что ответа не последовало. Пропал человек, исчезли материалы.

Нет никакого желания описывать детали всей этой изысканно продуманной бюрократической операции и моральные пытки, которым подверглась победительница. Вообще сегодня много говорят о лагерных репрессиях, но умалчивают об обстановке тех лет в «нормальных» учреждениях. Лариса держалась полтора месяца, но в конце концов подписала заявление о своем переходе в Амакинку, датированное началом полевого сезона. Дело было сделано, и ее выпустили в Ленинград, вернув собранные образцы.

Но совершенно в духе всех преступлений продолжалось уничтожение следов истории открытия. Только так, к примеру, можно понимать перенос заявочного столба, поставленного Попугаевой и Беликовым на трубе Зарница (всего на 200 м, но столб-то не там стоит!). И просто поразительная злопамятность М. Н. Бондаренко в отношении к первооткрывателям сибирских алмазов: в 1955 г. Сарсадских не давали отчетов в фондах Амакинки, а когда она вместе с известным уральским геологом-алмазником В. С. Трофимовым должна была поехать на Далдын, то, упреждая их визит, полетела телеграмма: «Сарсадских вылетела без разрешения месторождение не допускать». Просто и категорично. И на памятнике в городе Мирный, на котором перечислены имена всех исследователей, участвовавших в поисках алмазов еще в 1957 г., не было ни одного имени ленинградских геологов.

Несколько лет спустя начальник Амакинской экспедиции М. Н. Бондаренко, по чьей инициативе творились все эти дела, постановлением Якутского обкома партии был снят с работы за многочисленные нарушения. История с Зарницей наложила неизгладимый отпечаток на всех участников. Руководство Амакинской экспедиции, закрепив за собой права на открытие алмазных месторождений в Сибири, больше не нуждалось в Л. А. Попугаевой – лишние свидетели всегда нежелательны, и она получала разрешение на переход обратно в Центральную экспедицию ВСЕГЕИ, где ей, «предательнице», не было места.

Конечно, можно сослаться на эксцессы, связанные с той или иной конкретной личностью. Сценарий событий не обязательно должен был повторяться при, скажем, других начальниках Амакинки. Бондаренко, будучи родственником министра геологии П. Я. Антропова, был уверен в его всегдашней поддержке и своей безнаказанности. По-видимому, он и по натуре был склонен к самоуправству – Юзмухаметов упоминает о «скандальных историях, связанных с его предыдущей работой в Варшаве и Москве».

Во ВСЕГЕИ Ларису больше не взяли. С момента ее возвращения драма приобрела оттенок личных столкновений, столь характерных для советских НИИ. Наталья Николаевна обвиняла Попугаеву в предательстве, считая, что переходом в Амакинку та сознательно хотела лишить Центральную экспедицию славы открытия. Напрасно Лариса пыталась объясниться, писала письма о том, что «ее заставили». Сарсадских стояла на своем, даже в 2003 г. заявляла: «Я бы не сдалась!» К сожалению, она продолжала считать, что предали и ее лично, и всю Центральную экспедицию. Сарсадских вспоминает, что когда Лариса обратилась с просьбой

Памятник Л. А. Попугаевой в г. Удачный (Мирнинский р-н, Якутия). Скульптор В. Барков. Фото Е. Баснева



Карьер на месте самой большой якутской кимберлитовой трубки Мир. На краю карьера стоит г. Мирный, который был построен для эксплуатации месторождения.
По: (Эрлих, 2006)

о приеме ее обратно на работу, Гончаров, начальник, вызвал Наталью Николаевну и сообщил об этом, на что она ответила: «Хотите устроить Попугаеву – пожалуйста. Но тогда я должна буду уволиться...» И он Попугаеву не взял.

Лариса перешла на работу в трест «Ювелирпром». И здесь эта творческая личность сделала много славных дел. Но с геологией было покончено. В конце концов, в 1970 г. (!) Попугаева защитила диссертацию по докладу о результатах работ по поискам кимберлитов на Сибирской платформе.

Пришло признание и к Наталье Николаевне Сарсадских. По ее собственным словам: «После выступлений журналистов в Ленинград приехала заведующая Музеем развития алмазодобывающей промышленности Якутии Татьяна Вечерина. Она беседовала со мной и после этого написала в министерство ходатайство о выдаче мне диплома первооткрывателя. И получила положительный ответ со словами: «Историю надо исправлять». Легкость, с которой министерство изменило свою позицию, скорее всего, объясняется тем, что министр-то был уже давно другой.

В 1994 г. на Зарнице по случаю 40-летнего юбилея восстановили заявочный столб и на прибитом к нему щите воспроизвели текст записки, оставленной Попугаевой и Беликовым 21 августа 1954 г.

А июле 2004 г., в ознаменование пятидесятилетия обнаружения Зарницы, на центральной площади г. Удачный был открыт памятник Ларисе Попугаевой. Открывали его президент Республики Саха (Якутия) Н. А. Штыров, дочь Попугаевой – Н. В. Попугаева и Н. Н. Сарсадских.

Статья написана по материалам, опубликованным в журнале «Звезда» (Эрлих Э. Н. Найти месторождение // Звезда. 2006. № 12. С. 69–88) и в книге: Эрлих Э. Н. «Месторождения и история». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 176 с.

Оспа дамоклов меч цивилизации

Оспу, часто называвшуюся бичом человечества, 35 лет назад удалось полностью ликвидировать с помощью массовой вакцинации и строгого противоэпидемического надзора. Это первый и пока единственный пример глобальной ликвидации особо опасного инфекционного заболевания мировым сообществом. Но исчезла ли оспа навсегда, не вернется ли эта или другая опасная оспоподобная инфекция вновь? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно знать, как и когда появился возбудитель этой болезни, как он адаптировался к человеческому организму и разобраться в механизмах взаимной эволюции патогенов и их хозяев

Оспа, или натуральная оспа (не путать с ветряной оспой), – особо опасное инфекционное заболевание, унесшее больше человеческих жизней, чем другие инфекции или даже войны.

Возбудитель этой болезни вызывал настолько характерные клинические проявления инфекции и служил причиной столь масштабных эпидемий с высоким уровнем смертности, что многие историки и медики оставили письменные свидетельства об этом заболевании. И хотя дошедшие до наших дней записи фрагментарны и разрозненны и не всегда позволяют надежно установить причину конкретной эпидемической вспышки, можно с уверенностью утверждать, что с давних времен это заболевание встречалась на большой территории, ограниченной на западе Египтом, а на востоке – Китаем.

С периода крестовых походов эпидемии этой опустошительной болезни регулярно возникали на Европейском материке как следствие заноса инфекции с Ближнего Востока: в VI–VII вв. вспышки оспы были зафиксированы во Франции, Италии, Испании и других странах Европы. Первые упоминания о тяжелых эпидемиях оспы в России относятся к XV в., а начиная со следующего столетия оспа стала настолько обычным явлением для Европы, что внимание летописцев привлекали только случаи ее чрезвычайно широкого распространения.

На разных языках название этой болезни звучит по-разному, но все они указывают на самое заметное ее проявление – поражения кожи: **старослав.** – оспа (от осыпать, сыпь); **лат.** – variola vera (пестрый, пятнистый); **англ.** – smallpox (small – мелкая, pox – кожная сыпь); **франц.** – la petite variole (мелкая пятнистость)

Ключевые слова: оспа, вакцинация, эволюция вирусов, вирус натуральной оспы, вирус осповакцины.

Key words: smallpox, vaccination, evolution of virus, variola virus, vaccinia virus

ЩЕЛКУНОВ Сергей Николаевич – доктор биологических наук, академик РАЕН, заведующий отделом геномных исследований и разработки методов ДНК-диагностики поксвирусов ФБУН Государственного научного центра вирусологии и биотехнологии «Вектор» (Кольцово, Новосибирская обл.), профессор кафедры молекулярной биологии Новосибирского государственного университета. Лауреат премии правительства РФ (2005). Автор и соавтор более 200 научных публикаций. На фото справа – автор в доме-музее Э. Дженнера, создателя метода противосспенной вакцинации

Слева – первые кожные высыпания у больных натуральной оспой появляются на лице и руках. Фото из архива С. С. Маренниковой

© С. Н. Щелкунов, 2013



ДИАГНОЗ – ОСПА!

В XX в. оспу по тяжести клинического течения и уровню летальности подразделяли на большую оспу (*variola major*, летальность 5—40 % от числа заболевших) и малую оспу (*variola minor*, летальность 0,1—2 %). В странах Азии и Африки в это время была распространена в основном большая оспа.

Инкубационный период, от момента заражения до начала лихорадки, обычно составляет 10—14 дней. Различают две основные стадии заболевания: продромальную (до появления сыпи) и стадию высыпания.

Первая стадия продолжается 2—4 дня и характеризуется высокой гипертермией (до 40,5 °С), тяжелой головной болью и характерной болью в крестце. Отмечаются тахикардия, учащение дыхания, тошнота, нередко рвота и бред.

Затем температура тела снижается, и появляются кожные высыпания в виде мелких красноватых узелков (*папул*) сначала на лице и руках, а затем на других частях тела. Увеличиваясь в числе и размерах, папулы превращаются в пузырьки с прозрачным содержимым и характерным западением в центре (*везикулы*). К 6—7-му дню происходит нагноение везикул (*стадия пустул*), сопровождающееся новым подъемом температуры. На 10—13-й день болезни пустулы достигают максимального размера, после чего постепенно уплощаются, подсыхают и превращаются в корки, которые отпадают к 30—40-му дню болезни, оставляя красноватые пятна.

В дальнейшем на некоторых участках (главным образом на лице) на месте пятен образуются характерные западения кожи – оспенные рубцы (так называемое *рябое лицо*).

Переболевшие люди приобретают пожизненный иммунитет к оспе и не являются хроническими носителями вируса.

И даже в XX в., за те неполные восемьдесят лет, когда осуществлялась массовая противооспенная вакцинация и велась интенсивная борьба с натуральной оспой с применением строгих карантинных мер, от этой инфекции в мире погибло не менее 300 млн человек!

Эволюционируем совместно

Как и другие вирусы, вирус оспы не способен существовать самостоятельно: чтобы размножиться, всем вирусам необходимо заразить чувствительные к ним высшие организмы. При этом в природе постоянно идут процессы изменения генетических программ и *селекции* (отбора) оптимальных вариантов, как у самих вирусов, так и у их хозяев. Отличие состоит лишь в том, что вирусы размножаются в зараженной клетке организма в короткий промежуток времени (несколько часов) и дают многочисленное потомство (сотни и тысячи дочерних вирусных частиц).

Многочлеточные организмы, например человек, не идут ни в какое сравнение с вирусами по скорости и эффективности размножения. При развитии эпидемии в реальной человеческой популяции, которая остается генетически неизменной в этот короткий промежуток времени, распространение вируса между особями происходит по принципу цепной реакции. Такой процесс может приводить к появлению множества *мутантных* (измененных) вариантов исходного вируса и отбору одного из них, который в данных конкретных условиях имеет преимущество в распространении и размножении. В случае, когда инфекция завершается летальным исходом, погибают наиболее чувствительные к ней особи. При этом во время любой эпидемии обязательно находятся особи слабо чувствительные или даже совершенно устойчивые к конкретному инфекционному агенту.

Чувствительность к инфекции обусловлена генетическими особенностями особей, поэтому во время массовых эпидемий возникают не только новые варианты вирусов, но и происходит обогащение популяции хозяина особями с генетически обусловленной устойчивостью к вирусу. Так идет взаимообусловленная совместная эволюция (*коэволюция*) вируса и его хозяина, при том что скорость эволюции у вирусов значительно выше по сравнению с аналогичным процессом у животных и человека.

Важная особенность натуральной оспы состоит в том, что она является строго *антропозной инфекцией*, т. е. передается только от человека к человеку – на сегодня не существует других видов млекопитающих, чувствительных к возбудителю этого заболевания. При этом данная инфекция обладает высокой *контагиозностью*, т. е. способностью эффективно передаваться от больных людей к здоровым. Вероятно, что вирус натуральной оспы произошел от вируса, поражавшего широкий круг чувствительных к нему видов животных, но который в процессе эволюции утратил эту способность, максимально адаптировавшись к организму человека (Shchelkunov *et al.*, 2005).

По замкнутому кругу

Если острое инфекционное заболевание способно быстро распространяться в популяции хозяина и приводить к скорой гибели или выздоровлению с приобретением иммунитета, то его вспышка должна

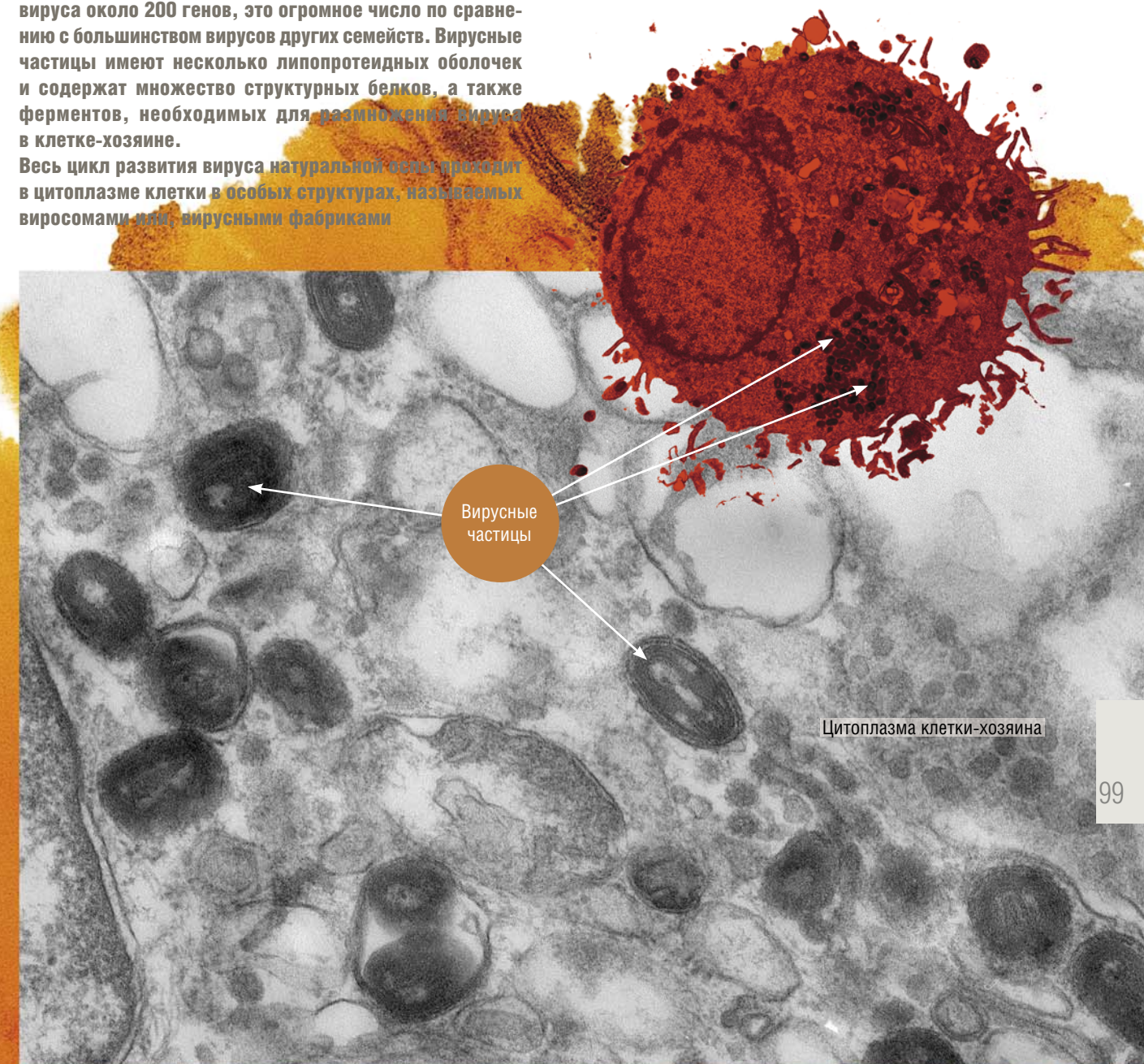
Вирус натуральной оспы относится к крупнейшим и сложноорганизованным вирусам млекопитающих. Вирусные частицы кирпичеобразной формы имеют сравнительно немалые размеры (250—300 × 200 × 250 нм), поэтому после специального окрашивания их можно увидеть с помощью светового микроскопа, что невозможно для других вирусов.

Геном вируса натуральной оспы представляет собой линейную двухцепочечную молекулу ДНК, содержащую 187 тыс. пар нуклеотидов, с ковалентно замкнутыми шпильчатыми структурами на обоих концах. В геноме вируса около 200 генов, это огромное число по сравнению с большинством вирусов других семейств. Вирусные частицы имеют несколько липопротеидных оболочек и содержат множество структурных белков, а также ферментов, необходимых для размножения вируса в клетке-хозяине.

Весь цикл развития вируса натуральной оспы проходит в цитоплазме клетки в особых структурах, называемых виросомами или вирусными фабриками

Как и все другие, вирус натуральной оспы способен размножаться только в клетках организма-хозяина. Внизу – зрелые вирионы (вирусные частицы) натуральной оспы штамма Индия-3а в клетках клеточных культур (фибробластов здоровой ткани легкого человека и клеток почки сирийского хомячка).

Электронная просвечивающая микроскопия. Фото Е. Рябчиковой (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор», Кольцово, Новосибирская обл.)





На лице мумии египетского фараона Рамзеса V, умершего в 1157 г. до н.э., видны множественные пустилярные поражения кожи, характерные для оспы. (Smith, 1912) *Smallpox and its Eradication*. F. Fenner, D.A. Henderson, I. Arita, Z. Jezek, I.D. Ladny. World Health Organization, Geneva, 1460 p. © World Health Organization 1988. P. 211. With permission from World Health Organization

до 5 лет во время периодически возникавших там эпидемий оспы даже в XX в. могла достигать 50 % (Fenner *et al.*, 1988). Это обусловлено тем, что вирус натуральной оспы обладает многофакторной системой для эффективного преодоления многочисленных защитных реакций организма человека, направленных против инфекционных агентов (Щелкунов, 2011; Shchelkunov, 2012). Поэтому вероятность генетической адаптации человеческой популяции к этому вирусу, которая позволила бы значительно понизить степень его патогенности для человека, крайне мала.

За прошедшие века эволюция в большей степени коснулась самого вируса. При этом на наиболее густонаселенных и обширных территориях (Индийский субконтинент) возникали эпидемии оспы с наибольшим уровнем летальности, а в регионах с низкой плотностью населения – с меньшим.

От животных – к человеку

Известно, что большинство человеческих патогенов происходит от *зоонозных* (т.е. характерных для диких животных) инфекционных агентов. При этом многие вирусы могут не вызывать выраженного заболевания у своего природного хозяина, но быть высокопатогенными при переносе на другой вид, в том числе на человека. Одни из наиболее ярких таких примеров – вирусы Марбург и Эбола, природным хозяином которых являются африканские летучие мыши. Они не вызывают у этих животных заболеваний даже при лабораторном заражении большими дозами, однако у человека служат причиной тяжелейших геморрагических лихорадок с летальностью до 80 %.

Важное значение для инфекционной «истории» человека имело формирование больших популяций домашних животных. Именно такие животные, с которыми люди часто вступают в близкий контакт, обычно и служат эффективным промежуточным резервуаром для передачи патогена от диких животных к человеку.

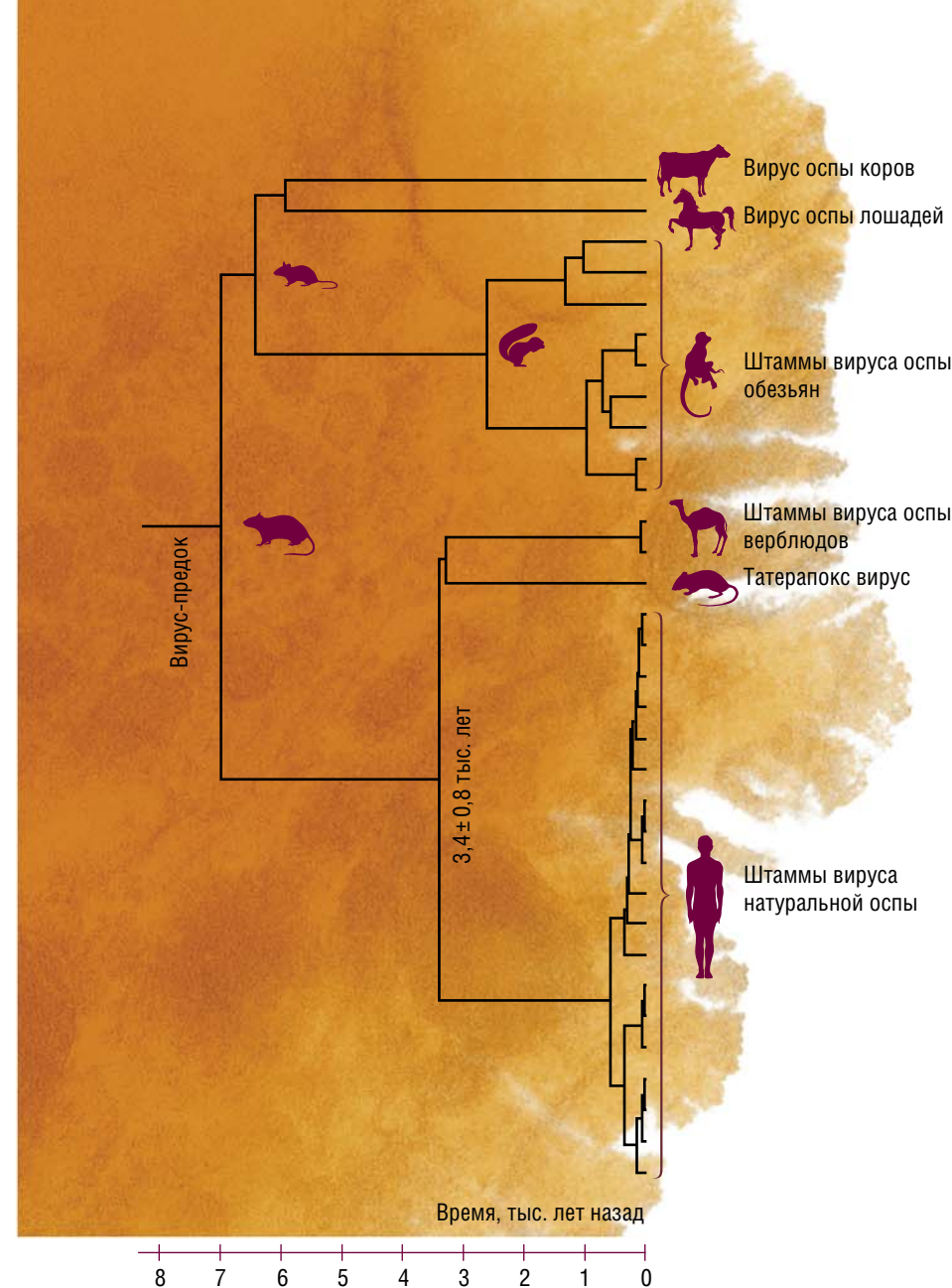
При этом на первых этапах этого процесса большинство зоонозных патогенов не способно передаваться от больного человека к здоровому. Однако по мере увеличения частоты инфицирования нового хозяина, в результате естественной эволюции вирус может приобрести способность эффективно передаваться между

приводить к быстрому исчерпанию «запаса» чувствительных к нему особей. И если при этом возбудитель такой инфекции человека утратит возможность размножаться в ранее существовавшем природном резервуаре, т.е. в диких животных, то в относительно небольшой и неплотной популяции людей эпидемия будет быстро затухать.

В большой же популяции людей с высокой плотностью населения инфекция может передаваться из одного района в другой, возвращаясь на исходную точку спустя годы, когда уже родилось и выросло новое поколение, чувствительное к патогену. В этом случае антропонозная инфекция будет поддерживаться на определенной территории многие годы, переходя в так называемое *эндемичное состояние*.

Старейшие дошедшие до нашего времени описания оспы, датируемые IV в. (Китай) и VII в. (Индия и Средиземноморье), определяют это заболевание прежде всего как детскую инфекцию, с наибольшим уровнем смертности именно среди детей. Это указывает на существовавшую уже в то время устойчивую эндемичность заболевания в этих густо населенных географических зонах.

В Индии, несмотря на многовековую эндемичность заболевания и длительную коэволюцию вируса натуральной оспы и населения этого региона, смертность среди невакцинированных детей возрастом



На основе анализа центрального консервативного района генома размером 101 тыс. пар нуклеотидов удалось построить родословное древо вируса натуральной оспы и других ортопоксвирусов и оценить времена расхождения этих штаммов. По: (Бабкин, Щелкунов, 2008)

людьми и таким образом стать причиной эпидемий. Период полной адаптации вируса к новому хозяину и превращение его в эпидемически опасный патоген может иногда исчисляться многими годами (Shchelkunov, 2011).

На основе данных расшифровки вирусных геномов удалось оценить время видообразования и независимой эволюции различных ортопоксвирусов, к которым относится вирус натуральной оспы (Бабкин, Щелкунов, 2008). Оказалось, что «родственные» вирусы натуральной оспы и оспы верблюдов произошли от единого ортопоксвируса-предка (по-видимому, вируса грызунов) около $3,4 \pm 0,8$ тыс. лет назад, а затем эволюционировали независимо.

Сохранение оспы возможно только в большой и плотной человеческой популяции. В процессе эволюции человека популяции такого большого размера начали возникать при переходе людей к оседлому образу жизни и развитию земледелия

Вероятно, примерно около 4 тыс. лет назад этот ортопоксвирус, имевший широкий круг хозяев, приобрел свойство заражать человека. При этом он вызывал как у людей, так и у домашних животных только кожные поражения без тяжелых последствий. По торговым путям древних цивилизаций вирус мог распространиться на огромном пространстве от Индийского субконтинента до долины р. Нил, вызывая в этих районах спорадические вспышки относительно легкой инфекции. Однако по мере адаптации вируса к человеческому организму могли возникать все более массовые вспышки, что, в свою очередь, приводило к появлению новых вариантов вируса (Shchelkunov, 2009).

Первые пришествия

Считается, что натуральная оспа зародилась в районе Египта (Ближний Восток), однако в дошедших до нас многочисленных региональных письменных источниках того времени нет упоминания об эпидемиях этого заболевания. Поэтому стоит рассмотреть альтернативный вариант, связанный с историей древней высокоразвитой Индской (Хараппской) цивилизации, которая была открыта археологами лишь в 1920-е гг. (Альбедиль, 1991).

Около 2,5 тыс. лет до н.э. в протяженной долине р. Инд появились крупнейшие для того времени города, население которых к началу 2-го тысячелетия до н.э. составляло около 5 млн человек. Однако по неизвестной причине



Когда праздник в честь индуистской богини оспы Шиталы заканчивается, ее глиняную статую несут к ближайшему водоему и бросают в воду. Но иногда красивую статую просто оставляют на берегу. *Индия, Калькутта (ныне Колката), 1995 г. Фото Я. Василькова. Коллекция МАЭ (Кунсткамера) РАН, Санкт-Петербург*

1,8–1,6 тыс. лет до н.э. эти города обезлюдели. Нет свидетельств, что они погибли в результате войн или природных катаклизмов; более того, при раскопках крупнейшего города Мохенджо-Даро на улицах были найдены многочисленные останки людей без видимых ран и повреждений, при том что, как установили археологи, для этой культуры было характерно креммирование умерших.

Самым очевидным объяснением краха Индской цивилизации – одной из трех наиболее древних цивилизаций человечества, наряду с древнеегипетской и шумерской, может быть эпидемия смертельной болезни. Поскольку время возникновения вируса натуральной оспы ($3,4 \pm 0,8$ тыс. лет назад) хорошо соответствует периоду резкого сокращения численности населения долины Инда ($3,8–3,6$ тыс. лет назад), можно предположить, что именно натуральная оспа в качестве новой смертельной инфекции стала причиной массовых эпидемий среди местного населения, не имевшего к ней иммунитета, что и привело к резкому снижению его численности (Shchelkunov, 2009). Размер этой человеческой популяции, по-видимому, не позволил инфекции перейти в эндемичное состояние, и этот высоковирулентный для человека инфекционный агент исчез.

«ПРОХЛАДНАЯ» БОГИНЯ

Шитала – индуистская богиня оспы – занимает совершенно особое место в ряду бесчисленных персонификаций Деви, разнообразием которых так богат индуизм. Ее культ широко распространен практически на всей территории Северной и Центральной Индии, от Синда и Гуджарата на западе страны до Бенгалии, Ассама и Ориссы на востоке, а также за пределами страны – в Бангладеш и Непале.

Несмотря на некоторую вариативность иконографии, Шиталу легко узнать: она изображается верхом на осле, обнаженной или одетой как замужняя женщина, часто – в виде пожилой брахманки. На голове у нее опахало, в руках – помело и сосуд с водой. Культ этой богини, очевидно, сложился довольно поздно – первые упоминания о ней появляются в медицинских трактатах XVI в., хотя описания самой болезни встречаются в текстах, созданных задолго до начала нашей эры.

Судя по многим признакам, культ Шиталы – народный по происхождению и не сразу был включен в индуистские религиозные представления. Так, упоминаний о Шитале нет в ранних брахманических текстах, а ее жрецами и по сей день являются по большей части не брахманы, а представители низкой касты малакаров.

Кое-где богине до сих пор приносят кровавые жертвы, хотя в целом она предпочитает бескровные подношения – кокосовые орехи, холодный рис, сладости и другие «охлаждающие» продукты.

Богиня, родившаяся из остывшего пепла жертвенного огня, ненавидит жару и всегда ищет прохлады, вознаграждая тех, кто сумеет умиловать ее, и наказывая жаром оспы нерадивых адептов. Неудивительно, что в рамках этих представлений

оспа рассматривалась не как опасное заболевание, а, скорее, как результат манифестации присутствия разгневанного божества. Поэтому лечение больного оспой прежде всего включало в себя процедуры, направленные на охлаждение тела несчастной жертвы божественной ярости: холодное питье, обмахивание опахалами, обтирание тела ледяной водой или влажными листьями дерева ним – любимого растения богини, действительно известного своей эффективностью против многих кожных заболеваний. Все эти действия сопровождалось песнопениями, обращенными к Шитале.

Наибольший уровень смертности от оспы фиксировался в Индии в жаркие сухие месяцы года, с февраля по апрель, резко снижаясь к началу дождливого сезона. Поэтому оспу в Индии часто называли весенней болезнью, а Шиталу, соответственно, весенней богиней (основной праздник, посвященный ей, приходится на середину марта).

И сегодня во время праздника во избежание гнева «прохладной» богини запрещены любые «разогревающие» действия – приготовление горячей пищи, употребление специй, возжигание огней в домах, а также супружеские отношения.

Хотя в первую очередь имя этой богини ассоциируется с оспой, характер ее весьма многогранен. Например, Шитала считается также защитницей детей и подательницей удачи. Но хотя особенности культа могут варьироваться от местности к местности, основная характеристика богини остается неизменной – она всегда «прохладная» (именно так буквально переводится с санскрита ее имя).

В наши дни «прохладная» Шитала представляет собой нечто большее, чем локальное божество, защищающее от оспы: она служит символом и постоянным живым напоминанием о необходимости соблюдения в теле человека правильного баланса тепла и холода. Нарушение такого равновесия, вызывая гнев богини, может привести к возникновению опасного заболевания.

К. М. Воздиган, старший специалист экспозиционно-выставочного отдела Музея антропологии и этнографии (Кунсткамера) РАН, Санкт-Петербург

Однако его зоонозный прародитель (либо низковирулентный вариант вируса натуральной оспы с широким кругом хозяев), по-видимому, продолжал циркулировать в природном резервуаре (грызунах) на большой территории. Такая ситуация характерна для любой новой высоколетальной инфекции человека: самый известный пример – эпидемия гриппа «испанка» в 1918–1919 гг.

Исследователи древних рукописей, в том числе Талмуда и Библии, не нашли в них описания эпидемий

Доу-Шэнь Нян-нян – женская ипостась китайского божества оспы Доу-Шэнь. (Dore, 1915–1925). *F. Fenner et al., 1988. P. 222. With permission from World Health Organization*





Распространение оспы в Америке, Южной Африке и Австралии шло по мере освоения и колонизации этих стран европейцами. Что касается вспышки эпидемии оспы среди австралийских аборигенов в 1789 г., то ее могли занести либо с корабля, прибывшего из Великобритании, либо с островов Ист-Индии.

Цифрами указаны даты случаев заноса натуральной оспы, ставших причиной эпидемий. F. Fenner et al., 1988. P. 232. With permission from World Health Organization

В новейшие времена оспа проявила свою убийственную силу после открытия европейцами Америки. В течение XVI—XVII вв. ее неоднократно завозили в Новый Свет из Европы и Западной Африки вместе с рабами.

Коренное население Америки никогда не встречалось с этой инфекцией, поэтому оспа стала для них страшным бедствием – некоторые племена вымерли практически полностью. Известно, что только в Мексике в 1520 г. оспа унесла около 3,5 млн жизней! Лишь после того, как мощные эпидемии оспы прошли через оба американских континента, болезнь перешла в эндемичное состояние с низким (менее 1 %) уровнем смертности.

Численность населения Южной и Северной Америки к моменту высадки Колумба составляла около 70 млн человек, однако в результате подобных эпидемий, в гораздо меньшей степени, в 1800 г. она уменьшилась до 600 тыс. человек

строго антропонозной инфекции с высыпаниями на коже, напоминающей натуральную оспу. Однако если использовать выдвинутое выше предположение, что возбудитель оспы произошел от ортопоксвируса с широким кругом хозяев, который на первых этапах адаптации к человеку оспы сохранил свойства зоонозной инфекции с небольшой патогенностью для человека, то в тексте Библии мы находим нужное нам описание, относящееся ко времени исхода еврейского народа из Египта (14 в. до н.э.): «... и сделалось воспаление с нарывами на людях и на скоте во всей земле Египетской» (Исход, шестая казнь египетская).

Это свидетельствует, что в Египте и на Ближнем Востоке уже в древние времена, по-видимому, имели место эпидемии зоонозной инфекции людей и домашних животных с кожными высыпаниями на теле, не сопровождающиеся летальным исходом (Shchelkunov, 2011).

Не исключено, что с эпидемией оспы, но уже с высокой летальностью, связана и таинственная «катастрофа» бронзового века на Ближнем Востоке и Восточном Средиземноморье, датируемая 1,2–1,1 тыс. лет до н.э. Этот период характеризуется резким снижением численности человеческой популяции этого обширного региона, разрушением городов и катастрофическими изменениями в общественном укладе (Robbins and Manuel, 2001). И именно к этому времени относятся две из трех найденных египетских мумий с кожными поражениями, характерными для натуральной оспы (Fenner et al., 1988).

Можно предположить, что в этот период в районе Ближнего Востока и Восточного Средиземноморья, где проживало несколько миллионов человек, произошло

повторное возникновение опасного для людей вируса, однако недостаточно высокая численность человеческой популяции опять не позволила новой антропонозной инфекции перейти в эндемичное состояние и сохраниться.

Следующее «пришествие» оспы произошло в середине 1 тыс. лет до н.э. на Индийском субконтиненте. Здесь в долине Ганга к тому времени сформировалась крупнейшая (около 25 млн человек) и плотная человеческая популяция. Очевидно, такая численность населения оказалась уже достаточной, чтобы вновь образовавшийся высокопатогенный штамм вируса перешел в эндемичное состояние.

В это время среди европейских стран самой густонаселенной была Греция, численность населения которой к 400 г. до н.э. составляла примерно 3 млн человек. И в Греции, и на Ближнем Востоке оспа, по-видимому, тогда не наблюдалась: по крайней мере, в армии Александра Македонского на пути от Средиземного моря до Индии не случались эпидемии. Зато во время пребывания этой армии на территории Индийского субконтинента в 327 г. до н.э. произошла вспышка



Поставленный вверх корнями пень айнов (одного из национальных меньшинств северо-востока России) служил оберегом от оспы. Начало XX в., Сахалинская обл. Фото Б. Пилсудского. Коллекция МАЭ (Кунсткамера) РАН, Санкт-Петербург

Этот поставленный вверх корнями пень у айнов (одного из национальных меньшинств северо-востока России) служил оберегом от оспы. Начало XX в., Сахалинская обл. Фото Б. Пилсудского. Коллекция МАЭ (Кунсткамера) РАН, Санкт-Петербург



Первая прививка вирусом коровьей оспы, взятым от больного человека, была сделана 14 мая 1796 г. английским врачом Э. Дженнером. Он втер содержимое пустул молочницы, заразившейся «коровьей оспой», в царапину на теле восьмилетнего Д. Фиппса. Как показали дальнейшие эксперименты Дженнера, мальчик приобрел устойчивость к заражению натуральной оспой. Впоследствии благодарный Дженнер построил Фиппсу дом и даже сам сажал розы в его саду. На фото – дом-музей Э. Дженнера (Беркли, Англия). Фото автора

заболевания с кожными поражениями, характерными для оспы.

Переход оспы на Индийском субконтиненте в эндемичное состояние обеспечил сохранение этого высокопатогенного для человека агента на протяжении многих столетий, вплоть до XX в. Отсюда это заболевание постепенно распространилось по всему миру, и ликвидировать его в глобальном масштабе удалось лишь во второй половине прошлого века с помощью специальных профилактических прививок.

КЛИН КЛИНОМ

Нужно заметить, что люди с давних пор наблюдали у домашних животных (коров, лошадей и буйволов) оспоподобные заболевания. Накапливалась информация, что люди, контактировавшие с больными животными, переносили такое заболевание в легкой форме, с образованием только кожных поражений. Зато впоследствии



На французской гравюре (1800 г.) изображен новый процесс вакцинации с использованием возбудителя «коровьей оспы» (вверху); на английской гравюре Д. Гиллрэя (1802 г.) отражен скептицизм, который осповакцинация первоначально встречала в некоторых группах населения (внизу).
F. Fenner et al., 1988. P. 269.
With permission from World Health Organization

Китайская акварель «Прививка от оспы». Пекин, до 1904 г.
Худ. Чжоу Пэй-чунь.
Коллекция МАЭ (Кунсткамера) РАН, Санкт-Петербург



они оказывались невосприимчивыми к летальной инфекции во время эпидемий натуральной оспы.

На основании подобных наблюдений в 1796 г. английский медик Э. Дженнер впервые предложил в качестве защиты от оспы прививку инфекционного начала из пустул больных коров или лошадей. Этот метод защиты от оспы получил название *вакцинация* (от лат. *vache* – корова), а впоследствии этот термин стали использовать в приложении к иммунизации против любых других инфекций.

Следует упомянуть, что царство вирусов было открыто лишь столетие спустя после введения в практику вакцинации против оспы. Но хотя природа защитного агента в то время была неизвестна, противооспенную вакцинацию стали активно применять сначала в Европе, а затем и во всем мире.

Первоначально людей заражали инфекционным материалом, взятым непосредственно от больных коров или лошадей, внося его в организм через кожные насечки на предплечье. Затем для вакцинирования других людей стали брать материал из кожных поражений с предплечья вакцинированных. Такой метод противооспенной вакцинации назывался «от руки к руке».

Во второй половине XX в. вакцинный материал научились получать в большом количестве от телят, зараженных путем massированной скарификации (шрамирования) кожи. Это позволило стандартизовать препараты вакцины и успешно проводить массовые вакцинации против оспы (Fenner et al., 1988).

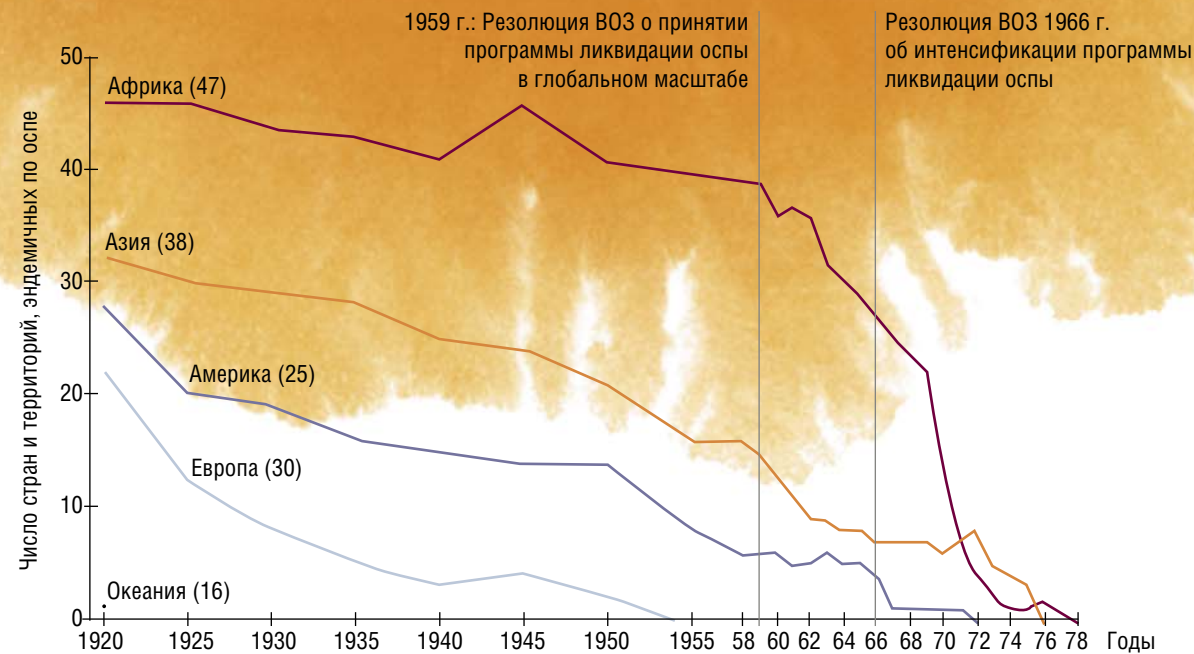
В России (а затем в СССР) обязательное оспопрививание было вве-

дено в 1919 г. В результате в стране с огромной территорией и различными географическими зонами, от пустынь до северной тундры, где проживали десятки народностей с различными традициями и верованиями, удалось за поразительно короткий срок (уже к 1936 г.!), полностью ликвидировать это опасное заболевание.

В первой половине XX в. так поступили и многие развитые страны. Тем не менее еще в 1950-х гг. вспышки натуральной оспы ежегодно регистрировались в 50–80 странах мира. А эндемичные очаги натуральной оспы в Азии, Африке и Южной Америке продолжали представлять угрозу странам, уже освободившимся от этой инфекции. Именно поэтому даже в этих странах пришлось продолжать противооспенную вакцинацию населения.

Перелом наступил в 1958 г., когда на 9-й сессии Всемирной ассамблеи здравоохранения от имени делегации СССР выступил заместитель министра здравоохранения В. М. Жданов с предложением инициировать программу ликвидации оспы во всем мире. И такая резолюция была принята 12 июня 1958 г., а затем, уже под эгидой Всемирной организации здравоохранения, началась беспрецедентная международная программа глобальной ликвидации оспы.

Советский Союз стал не только инициатором этой программы, но и оказал широкую поддержку на всех этапах ее реализации в последующие годы. Уже в 1958 г. Советское правительство передало ВОЗ 25 млн доз сухой



ОСПА «ПОД ЗАМКОМ»

После глобальной ликвидации оспы ВОЗ приняла решение, с целью осуществления надежного международного контроля сохранить коллекции штаммов вируса натуральной оспы лишь в двух странах – России и США. Эти коллекции находятся в двух сотрудничающих центрах ВОЗ, расположенных при ФБУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» (Кольцово, Новосибирская обл.) и в Центре по контролю заболеваемости (Атланта, Джорджия, США).

Лаборатории этих центров оснащены так, чтобы обеспечить полную безопасность при работах с вирусом как исследователей, так и окружающей среды. Международные комиссии ВОЗ регулярно посещают эти лаборатории для контроля за организацией экспериментальных работ и состоянием технических систем, обеспечивающих безопасность вирусных исследований.

Экспериментальные работы с использованием вируса натуральной оспы в настоящее время направлены прежде всего на поиск эффективных противовирусных препаратов и разработку современных безопасных противооспенных вакцин.

Заявки на такие работы в обязательном порядке проходят экспертизу в научном подкомитете ВОЗ по оспе, и одобрение получают только наиболее важные для здравоохранения проекты. О результатах экспериментов ученые российского и американского центров ежегодно докладывают на совещаниях Консультативного комитета ВОЗ по изучению вируса натуральной оспы в штаб-квартире ВОЗ в Женеве

Эпидемиологическая ситуация по натуральной оспе в 1920—1978 гг.: число стран и территорий (по континентам), где заболевание сохранялось в эндемичном состоянии. (Цифры в скобках – число стран и территорий по континентам, вовлеченных в исследование). F. Fenner et al., 1988. P. 171. With permission from World Health Organization

противооспенной вакцины, которая была направлена в разные страны. Через два года в Московском научно-исследовательском институте вирусных препаратов была организована специальная лаборатория для крупномасштабного производства противооспенной вакцины, отвечающей требованиям ВОЗ. Эта лаборатория стала также центром для обучения зарубежных специалистов. Всего же за два десятилетия осуществления международной программы по ликвидации оспы наша страна поставила свыше 1,5 млрд доз противооспенной вакцины, которые использовали для вакцинации населения в 45 странах.

Последний случай оспы был зарегистрирован в 1978 г., а через два года на 33-й сессии ВОЗ было торжественно провозглашено, что мир и все народы Земли одержали победу над натуральной оспой. Одновременно всем странам было рекомендовано прекратить вакцинацию населения против оспы.

Глобальная ликвидация признана одним из величайших достижений общественного здравоохранения. 17 мая 2010 г. в Женеве перед зданием штаб-квартиры Всемирной организации здравоохранения был открыт памятник в ознаменование 30-й годовщины этого великого события. Фото из архива автора



После успешной победы над оспой остался вопрос: навсегда ли ликвидировано это опасное инфекционное заболевание?

Ответ на него не так прост. Потенциальная опасность «возрождения» оспы сохраняется и в наши дни, поскольку на больших территориях Евразии, Центральной Африки и Южной Америки распространены близкие родственники вируса натуральной оспы – патогенные для человека зоонозные ортопоксвирусы. Среди них – вирусы оспы обезьян, оспы коров, оспы буйволов и осповакцины, чьим природным резервуаром служат разные виды грызунов (Shchelkunov et al., 2005).

Например, на территории Индии в последние годы происходят вспышки инфекции, вызванные вирусом оспы буйволов, в которые вовлечены тысячи животных и сотни людей. Если эту ситуацию пустить на самотек, то по мере укрупнения вспышек заболевания все большее число людей будет инфицироваться вирусом, в результате чего он сможет полностью адаптироваться к организму человека, превратившись в эпидемически опасный инфекционный агент.

Но оснований для паники все же нет: современная ситуация радикально отличается от тех, что наблюдались в далеком прошлом. Все вспышки ортопоксвирусных инфекций человека и домашних животных в наши дни регистрируются и изучаются медиками и ветеринарами, а в процессе глобальной ликвидации оспы были отработаны стратегии вакцинации и противоэпидемических мероприятий при таких инфекциях.

Контроль всех локальных вспышек ортопоксвирусных инфекций людей должен вестись с помощью современных методов видоспецифичной экспресс-диагностики, а для предотвращения их перехода в эпидемию нужно использовать карантинные мероприятия и вакцинацию. Если ВОЗ и медицинским службам стран, которые ведут наблюдения за ортопоксвирусными инфекциями домашних животных и людей, хватит мудрости и организованности, то оспа не вернется.

Литература
 Бабкин И. В., Щелкунов С. Н. Молекулярная эволюция поксвирусов // *Генетика*. 2008. Т. 44, № 8. С. 1029–1044.
 Щелкунов С. Н. Противовирусные вакцины – от Дженнера до наших дней // *Соросовский образовательный журнал*. 1998. № 7. С. 43–50.
 Щелкунов С. Н. Преодоление ортопоксвирусами защитных систем организма млекопитающих // *Молекулярная биология*. 2011. Т. 45, № 1. С. 30–43.
 Fenner F., Henderson D. A., Arita I., Jezek Z., Ladnyi I. D. *Smallpox and its Eradication*. Geneva: World Health Organization, 1988.
 Shchelkunov S. N., Marennikova S. S., Moyer R. W. *Orthopoxviruses Pathogenic for Humans*. New York: Springer, 2005.

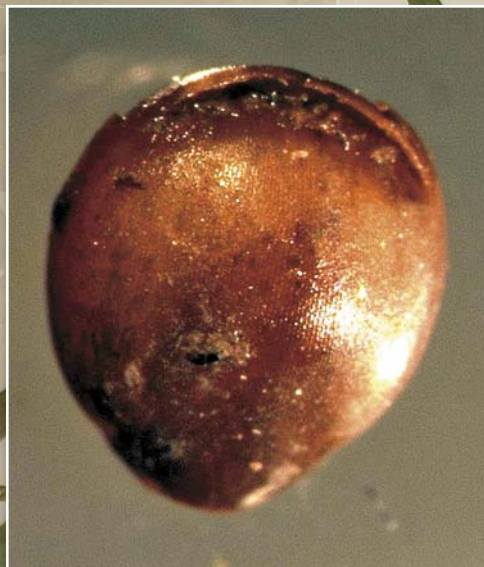
Редакция благодарит сотрудников Музея антропологии и этнографии (Кунсткамера) РАН, Санкт-Петербург д. и. н. Я. М. Василькова и К. М. Воздиган за помощь в подготовке публикации

И ДУША ВОЗРОДИТСЯ, как зерна проса



Древние погребения являются хранилищами разнообразной информации из прошлого, которую мы часто не в силах точно «прочитать», а иногда и просто увидеть. И хотя среди предметов, в них находящихся, нет ничего случайного или незначительного – только необходимое и важное в строгом соответствии с представлениями времени, в отсутствии письменных свидетельств часто можно лишь гадать о назначении того или иного предмета, минерала или растения из древних могил. Чтобы узнать о происхождении и назначении зерна, найденного в курганах высокопоставленных кочевников-хунну, ученым пришлось провести настоящее ботанико-археологическое расследование

Как и другие археологические находки, россыпи зерна на дне гроба и на полу погребальной камеры 22-го ноин-улинского кургана были затянuty глиной и дождевой водой (внизу). Слева и справа – отмытые зерна из 22-го и 31-го курганов



ПОЛОСЬМАК Наталья Викторовна – член-корреспондент РАН, доктор исторических наук, главный научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск). Лауреат Государственной премии РФ (2004), лауреат Национальной премии «Достояние поколений». Автор и соавтор более 130 научных работ

КОРОЛЮК Елена Анатольевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории Гербарий Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор свыше 65 научных работ

© Е. А. Королук, Н. В. Полосьмак, 2013
Алтай, Шебалинский р-н, Семинский хр.,
дол. в. Сарлык, 49° 90' с. ш. 86° 60' в. д.
выс. 1220 м. Стоянка, обочина дороги.
28.06.1931г. И. Ишеничная.

*«Подобно семеню, покоящемуся в лоне Земли,
мертвецы также ожидают возвращения к жизни
в новом облици»
М. Элиаде (1999)*

В типичной «археологической» ситуации при раскопке погребальных сооружений исследователи обычно имеют дело с вещами из неорганических материалов. Хорошо сохранившаяся органика – редкий, «счастливый случай» для археологов, но именно он позволяет исследователям увидеть больше и продвинуться дальше в реконструкции далекого прошлого.

Именно такими погребальными комплексами оказались курганы кочевников хунну в горах Ноин-Ула (Северная Монголия), раскопанные в 2006–2012 гг. советско-монгольской археологической экспедицией.

Вся жизнь представителей элиты этого кочевого народа проходила на коне, а основу питания, как и у всех центрально-азиатских кочевников, составляла молочная и мясная пища, разбавленная дикоросами. Казалось бы, в их погребениях совсем не место зерну – типичному сельскохозяйственному продукту. Однако в каждом из четырех курганов хунну, исследованных в последние годы в Ноин-Уле, помимо разнообразных предметов материальной культуры были найдены растительные остатки в виде россыпи зерна.

Что же это за зерно, и для какой цели его поместили две тысячи лет назад в погребения кочевой знати?

Научный детектив

Археологические находки органического материала (в частности растений), как правило, уникальны – этот материал редко бывает «массовым». Сложность определения такого материала заключается и во фрагментарной сохранности частей растений из могильников. По сути, такое исследование сродни детективной истории, распутать которую вдвойне интересно.

Определить растение до таксономической принадлежности – семейства, рода и вида, можно на основе комплекса вегетативных и генеративных особенностей растений, так называемых диагностических признаков. Используя специальные определители растений, человек, хоть немного знакомый с ботанической терминологией, сможет классифицировать любое растение, имеющее полный набор органов (цветки, побеги с листьями, плоды, подземные органы) – по крайней мере, его принадлежность к определенному ботаниче-

Хунну хоронили своих знатных соплеменников в деревянных погребальных камерах на дне глубоких могильных ям, которые перекрывались деревянными и каменными перекрытиями и плотно засыпались грунтом. На фото 16-метровая могильная яма 22-го ноин-улинского кургана

скому семейству или роду. Видовая или внутривидовая принадлежность – это уже «высший пилотаж», удел ботаников-профессионалов.

В ноин-улинских курганах хунну растительные остатки в виде семян были достаточно однородны. Они покрывали спрессованным слоем (толщиной не более 0,5 см) войлочный ковер на деревянном полу погребальной камеры в кургане 20, а в кургане 31 – шерстяное полотно, которым был застелен пол погребальной камеры. В кургане 22 слой слежавшихся семян был обнаружен на дне гроба, а вдоль северной стенки внутренней погребальной камеры находились отдельные скопления семян, которые, вероятно, были первоначально помещены в мешочки из ткани, впоследствии истлевшей.

Таким образом, в данном случае исследователи располагали только плохо сохранившимися остатками семян и редкими фрагментами соцветий, без прочих вегетативных частей растений, т. е. грубо обмолоченным зерном. Поэтому для установления родовой или видовой принадлежности растений можно было использовать лишь несколько признаков: форму и размер зерновки*, а также характер поверхности цветковых чешуй.

По внешнему виду зерна из могильников были первично идентифицированы как плоды хлебных злаков. Их форма и размер позво-

* Зерновка – односемянный невскрывающийся плод с сильно упрощенной, плотно прилегающей семенной кожурой



ПЕРВАЯ КОЧЕВАЯ ИМПЕРИЯ

Хунну – знаменитый кочевой народ Центральной Азии, создавший на рубеже 3–2 тыс. до н. э. первую кочевую империю. Два с половиной столетия хунну стояли у границ Империи Хань, отгородившейся от «северных варваров» многокилометровой Великой стеной.

В течение всего периода противостояния двух держав хунну получали в обмен на спокойствие границ замаскированную в виде подарков дань от ханьских императоров. Однако это не служило препятствием кочевникам, которые совершали постоянные военные набеги на приграничные области за добычей, в которую входили ткани, металлические изделия, разнообразные сельскохозяйственные продукты и многое другое. Общей объем награбленного намного превосходил императорские подарки, кроме того, из своих набегов хунну пригоняли местное население в качестве пленных.

В конце 1 в. н. э. империя хунну прекратила свое существование, но сами хунну не исчезли с исторической карты: вместе в другими кочевыми народами гуннская орда начала завоевывать Европу





Растительный материал из ноин-улинских курганов: *вверху* – спрессованные части разрушенных зерновок из кургана 20; *справа* – отмытые и просушенные зерновки из кургана 22

лили сразу отбросить возможность того, что это были зерновки риса, кукурузы, ржи, пшеницы, овса, ячменя (основных хлебных злаков, возделываемых на этих территориях) или каких-то диких злаков. Материал, найденный в погребениях, мог принадлежать как называемой *трибе* (группе родов) современных *просовых* (*Panicaceae* R. Br.) либо *бородачевниковых* (или *сорговых*, *Andropogoneae* Dum.), к которым относится множество культурных видов.



Просо под микроскопом

Чтобы достоверно определить растение только по одной, к тому же плохо сохранившейся части, необходимо обратиться к гербарным коллекциям крупнейших ботанических хранилищ – ценнейшей части культурного наследия любого государства. В нашем случае в первую очередь следовало изучить крупнейшие гербарные фонды возделываемых злаковых Всероссийского института растениеводства РАН (ВИР, Санкт-Петербург). И, конечно же, коллекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (СБСБ, Новосибирск), служащие обширным справочным материалом по сибирским диким и культивируемым растениям.

Современная группа просовых включает в себя несколько хлебных злаков, в том числе просо обыкновенное, просо итальянское (щетинник), африканское просо и т. д. К группе же бородачевниковых относится около ста родов, приуроченных главным образом к тропическим и субтропическим странам: сахарный тростник, сорго сахарное, сорго жильчатое (гаолян

При изучении истории старейших культурных растений исследователи сталкиваются с большой проблемой, связанной с тем, что в разные исторические эпохи и в разных регионах они могли фигурировать под различными названиями. Например, просо обыкновенное в наши дни именуется *Panicum miliaceum*, однако в древности под названием *Panicum* выступало совсем другое растение – современный щетинник *Setaria* (разновидности щетинника итальянского культивировались на зерно под названием «чумиза» и «гоми»). Более того, даже первые научные ботанические классификации значительно отличались от современной. Так, французский ботаник Ж. Турнефор (1700 г.) причислил к роду *Panicum* 15 видов, многие из которых сегодня отнесены к другим систематическим группам. Просо же этот ученый включил в род *Milium* наряду с систематически совершенно отличным растением – сорго поникшим (*Holcus sorghum*).

Поэтому неудивительно, почему такой, казалось бы, простой вопрос археолога: «Что это – просо или чумиза?» – может поставить ботаника в тупик

Сравнительный анализ формы и размеров зерновок из курганов хунну и современных зерновых показал, что археологический материал представлен просом обыкновенным.

а – зерновка проса обыкновенного (Монголия, NS);
б – зерновки из ноин-улинского кургана 31

Для большей уверенности был проведен также сравнительный анализ структуры поверхности цветковых чешуй проса. Эти признаки считаются довольно консервативными и часто используются в качестве диагностических в систематике.

Морфологические особенности поверхности цветковых чешуй определяются прежде всего формой, размерами и толщиной стенок покровных клеток, а также рельефным узором поверхности, который они слагают (Николаевская, Петрова, 1989). Так как у проса обыкновенного эпидерма цветковых чешуй толстая и покрыта защитным слоем (*кутикулой*), то чтобы увидеть на поверхности узор, слагаемый покровными клетками, были изучены только те фрагменты зерновок из могильников, где этот слой был разрушен. Современный же материал пришлось обработать специальным раствором для растворения кутикулы (Vural, 2008).

Результаты сравнительного исследования характерных признаков цветковых чешуй подтвердили предположение, что семена из погребений хунну являются зерновками проса обыкновенного (*Panicum miliaceum* L.).

Пшено по-императорски

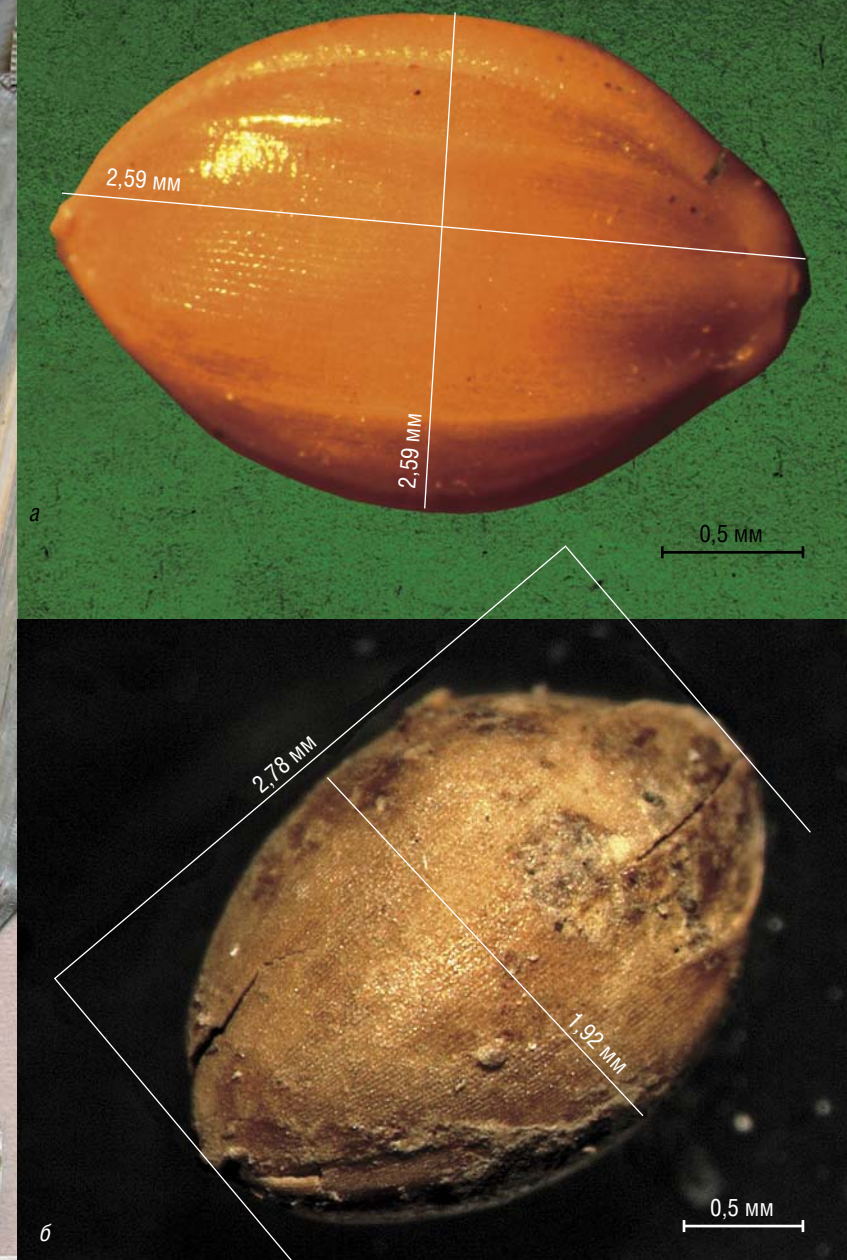
Известно, что зерно было важной частью подарков, которыми ханьский Китай «покупал» у хунну спокойствие своих границ. Из всех зерновых культур, выращиваемых в Китае, к хунну поступало

В погребениях эпохи Хань находят много предметов погребальной пластики, включающей в себя, наряду со скульптурными изображениями людей, изображения зверей, построек, посуды, повозок и многих других вещей, окружавших человека в его повседневной жизни. Среди этой мелкой пластики встречаются и глиняные модели зернохранилищ. Изучение надписей на них показало, что на территории древнего Китая, помимо проса, культивировалось много других видов пищевых и кормовых растений: чумиза, пшеница, ячмень, рис, соя, фасоль, конопля.



Щетинник итальянский или просо итальянское (*Setaria italica* (L.) Beauv. = *Panicum italicum* L.) под названием «могар» издавна культивировалось как кормовое растение для скота, под названиями «чумиза» или «гоми» – как зерновое. Гербарный образец WIR. Средняя Азия, Прибалхашье.

Еще одно древнее культурное растение – дурра или хлебное сорго (*Sorghum durra* (Forsk.) Stapf) отличается от проса обыкновенного более плотным соцветием. Гербарный образец WIR. Ирак



и др. (Злаки СССР, 1976). В умеренных широтах издавна возделываются такие пищевые и кормовые виды бородачевниковых, как сорго дурра, сорго сахарное и т. д.

Чтобы исключить ошибки при идентификации археологического материала, был проведен сравнительный анализ зерновок различных «пищевых» представителей просовых и бородачевниковых из разных географических регионов умеренного климата. Оказалось, что все эти виды бородачевниковых имеют более крупные зерновки по сравнению с просовыми. Исследование зерновок из могильников хунну показало, что, скорее всего, мы имеем дело именно с просовыми, а конкретнее – с просом обыкновенным.



Часть соцветия-колоска

Зерновка, укрытая цветковой чешуей

Зерновка без чешуи

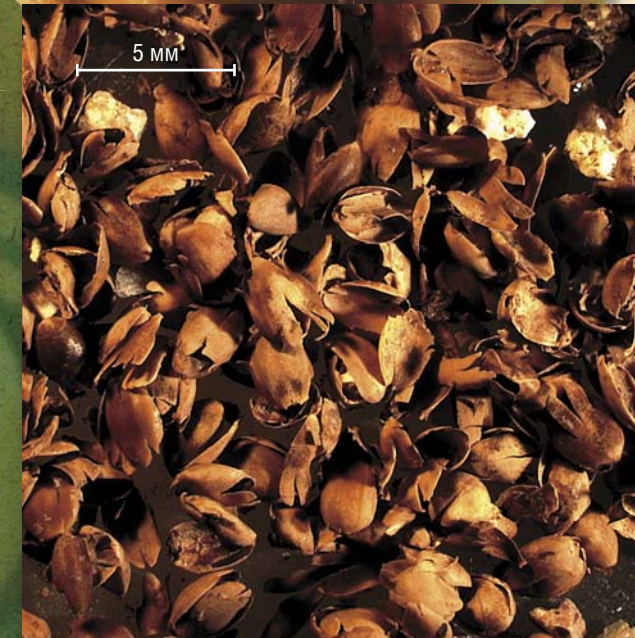
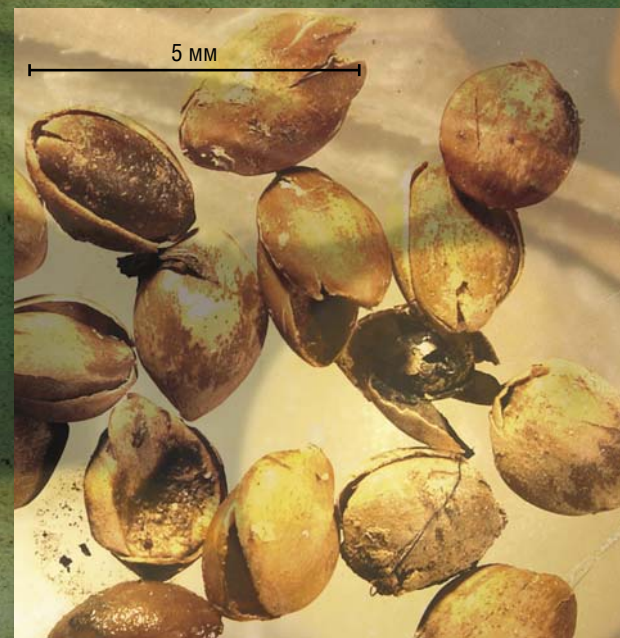


ГЕРБАРИЙ
 Центрального Сибирского ботанического сада
 СО АН СССР
Panicum miliaceum L.
 Алтай, Шебалинский р-н, Семунский хр.,
 дол. р. Сарлык, 49° 90' с. ш. 86° 50' в. д.
 выс. 1220 м. Стоянка, обочина дороги.
 28.06.1934 г. И. Шенников. НАУКА из первых рук

Археологический материал из ноин-улинских курганов хунну: справа – зерновка проса из кургана 31; внизу – отмытые и просушенные зерновки проса из кургана 22

Цветковая чешуя
 0,5 мм

Зерновка



С НИМ КАШУ СВАРИШЬ

Среди группы просовых самый крупный род – просо (*Panicum*), который насчитывает свыше 400 видов, распространенных преимущественно в тропических и субтропических странах обоих полушарий. Наибольшее число видов встречается в Северной Америке и в Африке. Почти все виды проса относятся к съедобным растениям, а более десяти из них являются важнейшими сельскохозяйственными культурами.

Любимую в России пшеничную кашу варят из семян проса обыкновенного (*P. miliaceum* L.), которое в диком виде не встречается. Это однолетнее травянистое растение 20–240 см высотой, с простым или ветвистым стеблем. Листья волосистые, линейно-ланцетные, соцветие в виде метелок – развесистых либо сжатых, прямостоячих либо поникающих. Колоски расположены на длинных веточках, цветковые чешуи ко времени созревания плода становятся твердокожистыми, различной окраски.

Плод – пленчатая зерновка. Зрелые зерновки мелкие (2–3 мм длиной), шаровидные или овальные, с плотно охватывающей их цветковой чешуей. Существует несколько внутривидовых классификаций проса обыкновенного: большинство из них основывается на форме метелки, форме и цвете плодов, эколого-географических условий произрастания.

Просо обыкновенное приурочено к теплой и умеренной зоне главным образом Северного полушария. Наиболее широко возделывается на территории бывшего СССР и в Китае. Просо расходует на образование сухого вещества вдвое меньше воды, чем пшеница, поэтому очень хорошо переносит летний зной и засуху. Общая площадь посевов на земном шаре насчитывает десятки миллионов гектаров

Гербарный образец проса обыкновенного (*Panicum miliaceum* L.) с характерным рыхлым метельчатым соцветием. На фото вверху – типичные плоды проса



в основном просо. В числе поставок хунну зерновых упоминается еще и рис, но в этот период он даже у самих китайцев считался дорогим угощением. Дело в том, что в то время рис культивировался, главным образом, южнее Среднекитайской равнины, а для более северных районов был не характерен, хотя небольшие посевы риса существовали и на этих территориях.

Ханьские дары зерном были не велики (около 100 тыс. л ежегодно) и, скорее всего, оседали в основном в ставке шаньюя, верховного правителя хунну (Крадин, 2002).

Судя по письменным источникам, в ханьском Китае использовалось зерно (в частности просо) разной степени очистки: грубо очищенное, очищенное, хорошо очищенное и высшего качества (Крюков и др., 1983). В то время при обмолоте зерна уже использовался специальный механизм – крупорушка, представляющая собой каменный пест на рычаге, приводимом в действие ногой (там же). В своем трактате «Спор о соли и железе» – важнейшем источнике сведений о Западной Хань (II–I вв. до н. э.) Хуань Куань, отдавая дань скромным нравам древности, наряду с другими появившимися излишествами перечисляет блюда из хорошо проваренного, очищенного от шелухи зерна высокого качества.

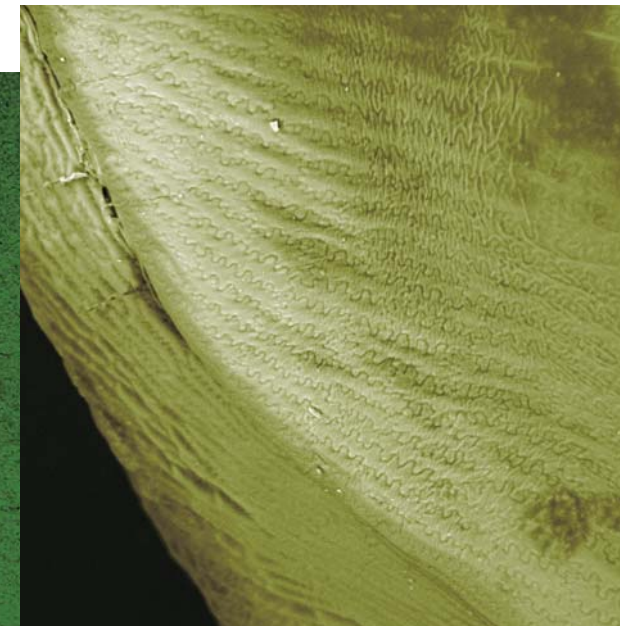
Но зерно, которое было обнаружено в трех элитных ноин-улинских курганах, вряд ли имело отношение к императорским поставкам: оно было грубо очищено, либо не очищено вовсе. Приношения же императорского двора, как известно, делались хорошо очищенным зерном высокого качества, что оговаривалось особо.

Перед проведением сравнительного анализа структуры поверхности цветковых чешуй зерновок проса обыкновенного были обработаны специальным раствором для удаления кутикулы. Гербарный образец NS, Читинская обл.

Вырастить, обменять или отобрать?

Нужно заметить, что климатические условия в ряде районов Монголии всегда были благоприятны для выращивания проса – другое дело, что у кочевников не было необходимости в этом занятии. Новые продукты не играли заметной роли в системе жизнеобеспечения номадов, от них можно было легко отказаться, поэтому «кочевой» рацион мог лишь временно расширяться под влиянием соседней земледельческой цивилизации.

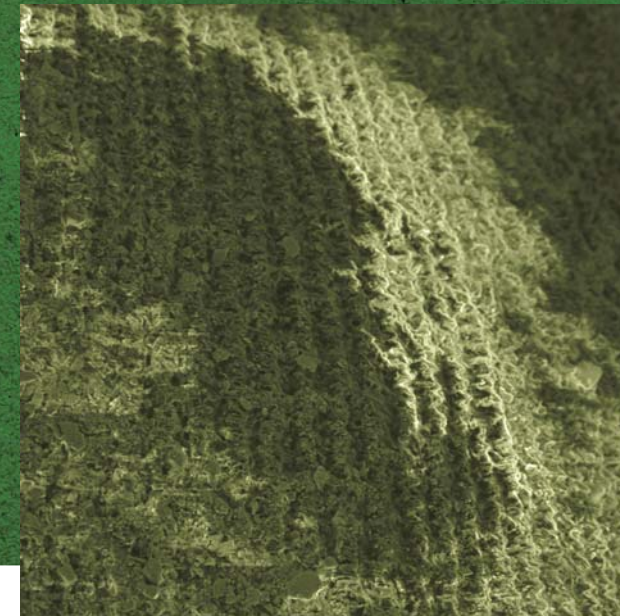
Так, выдающийся российский археолог и историк А.П. Окладников считал, что «земледелие в Монголии вплоть до недавнего прошлого существовало только в районах, находившихся под прямым влиянием китайцев. В других же местах, где господствовала исконно монгольская скотоводческая культура и неизбежно сохранялись древние традиции, земледелие было настолько чуждо монголам, что вскапывать землю вообще считалось опасным... потребности в растительной пище удовлетворялись собирательством» (Окладников, 1962, с. 424–425). Другим источником растительной пищи «у кочевников-гуннов» стали, по мнению ученого, опирающегося на археологический материал и пись-



а – зерновка проса обыкновенного (гербарный образец NS, Алтай)



Границы стенок покровной клетки



б – зерновки из кургана 31



Границы стенок покровной клетки

У зерновок современного вида проса (а) и зерновок, обнаруженных в курганах хунну (б), фактура поверхности, сложенной покровными клетками, оказалась схожей. Сканирующая микроскопия. Фото Е.Королюк и В.Ушакова

менные данные, «земледельческие колонии, в том числе из пленных китайцев» (Там же, с. 431).

С академиком Окладниковым согласен и известный американский исследователь Центральной Азии Т. Барфилд: «Зерно отчасти могло выращиваться в степи. Но ранние морозы в Монголии делали его производство сомнительным. Культивирование зерна

также несовместимо с кочевыми передвижениями, хотя часть населения (или китайские пленники в некоторые периоды), возможно, занималась этой задачей» (Барфилд, 2008, с. 24).

Заниматься земледелием и при благоприятном стечении обстоятельств снабжать зерном местных кочевников могло население городищ, расположенных на хуннской территории, которое составляли военнопленные и перебежчики. Это предположение подтверждается, в частности, исследованиями Иволгинского городища в Забайкалье (Давыдова, 1986). Земледелием занимались и подчиненные хунну племена ухуаньцев, обитавшие на территории Южной Маньчжурии, – известно,

что они сеяли просо (Бичурин, 1950). Часть урожая, наряду с кожами и овчинами, могла поступать к хунну в качестве дани.

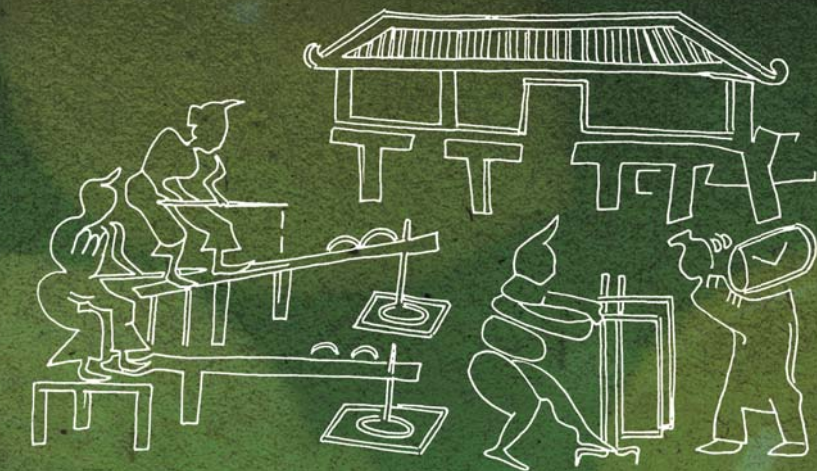
Грубо очищенное просо могло попасть к хунну и другим путем. Например, в истории взаимоотношений империи Хань и хунну были периоды, когда на пограничных заставах открывались рынки, где кочевники путем обмена могли удовлетворять свои потребности, в том числе в зерне. Другой вариант – набег на приграничные китайские поселения, во время которых хунну захватывали гораздо больше добычи, чем предоставляемые им дары. Набеги, как правило, совершались после проведения сбора урожая: «когда урожай созреет, мы пошлем конницу для сбора урожая!» – грозили хунну (Цянь, 2002, с. 337).

С какой же целью просо, полученное тем или иным путем, было помещено в погребения хуннской знати? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно обратить особое внимание на места обнаружения этих находок.

Складывается впечатление, что в этих погребениях просо присутствует не в качестве пищи, в отличие, например, от одного из погребений хуннского могильника Черемуховая падь (Забайкалье), где «просо, сохранившееся в виде шелухи от зерен», лежало в глиняном горшке (Коновалов, 1976, с. 40). Как и в ноин-улинском кургане 11, где остатки проса или пищи из проса также были обнаружены на дне горшка.

Нужно добавить, что в описании одного из погребений эпохи Хань в провинции Хубэй отмечено, что внутри гроба был насыпан слой проса (Краткий отчет о раскопках..., 1981). Можно предположить, что в погребальном обряде хунну грубо очищенное зерно играло ту же роль, что и у самих ханьцев. В чем же она заключалась?

В древнем Китае просо было не только ценным пищевым продуктом: оно использовалось для жертвоприношений в храмах предков – для такого жертвенного проса имелись даже специальные сосуды. Из проса также



На прорисовке рельефа ханьского времени из Западного Китая можно видеть процесс помола зерна. На барельефе помещено изображение мужчин, работающих на педальных мельницах-толкушках (слева), справа – просеивающих зерно через сито. На заднем плане – зернохранилище на столбах. Прорисовка Л. Шумаковой. По: (Леве, 2005).

выдвигали вино, которое среди других изысканных блюд жертвовалось богам, предкам и духам (Васильев, 2001).

В древнем Китае «Владыкой (Богом) Проса» называли божество зерна и покровителя земледелия Хоуцзи, который считался также прародителем чжоуского племени. А в «Каталоге гор и морей», важнейшем источнике по мифологии и этнографии Китая IV–I вв. до н. э., фигурирует даже некое озеро Проса, в которое впадает река Бессмертия (Цзюань II, кн. 3, 14).

При этом в древних текстах бог проса часто отождествлялся с самим зерном (Яншина, 1984). В древнекитайском своде «Толкование обрядов и обычаев» (прибл. 140–206 гг. н. э.) говорится: «Просо главенствует над

Дорога к бессмертию

Как упоминалось выше, в трех исследованных курганах археологи нашли зерна проса на полу погребальных камер и на подстилке внутри самого гроба.

В кургане 23, изученном еще в 1924 г. экспедицией П. К. Козлова, зерна проса были обнаружены в заполнившей погребальную камеру «глинистой грязи», т. е. также были рассыпаны по полу (Руденко, 1963). Похожая находка была сделана и в хуннском могильнике Гол-Мод (Архангайский аймак, Монголия), исследованном франко-монгольской экспедицией: пол погребальной камеры и в этом случае был усеян зернами, по виду напоминавшими просо либо схожую с ним коноплю (Mongolia. Le premiere empire..., 2003).



На дне этого глиняного сосуда из 11-го ноин-улинского кургана хунну сохранились остатки содержимого, в состав которого входило просо

всеми хлебами. Всех видов хлебов (злаков) слишком много, нельзя каждому приносить жертвы. Поэтому выбрали Просо и приносят ему жертвы» (кн. 8, с. 1а).

Особая роль проса в мифологии древнего Китая связана с тем, что оно было одной из первых зерновых культур, domesticiрованных на территории этой страны, – это случилось примерно около 10 тыс. лет назад (Liu, Kong, 2004). Такой выбор обязан исключительно высокой засухоустойчивости проса, его способности давать урожай за короткий вегетационный период и на бедных почвах, а также способности зерна сохраняться длительное время. В результате для древнекитайской земледельческой цивилизации этот злак сыграл ту же роль, что пшеница и ячмень для знаменитых древних цивилизаций так называемого Полумесяца плодородия, ближневосточного региона, занимавшего территории современного Ливана, Израиля, Сирии, Ирака и Египта.

Согласно древнекитайским представлениям, присутствие зерен проса в захоронении, очевидно, должно было способствовать возрождению умершего. «Расти-

тельная жизнь, которая возрождается через видимое исчезновение (когда семена закапывают в землю), дает человеку пример и надежду: то же самое может произойти и с душами умерших» (Элиаде, 1999, с. 330).

Археологические находки в курганах хунну свидетельствуют, что такое особое отношение к просу, характерное для китайской культуры, перешло и к их соседям-номадам. И, как многие другие традиции земледельческой цивилизации Хань, нашло отражение в погребальном обряде кочевой элиты.

Авторы благодарят руководителя «Центра коллективного пользования микроскопических исследований ЦСБС СО РАН» с. н. с. А. А. Красникова и сотрудников Всероссийского института растениеводства РАН к. б. н. И. Г. Чухину и д. б. н. Т. Н. Смекалову за помощь в исследовании; к. и. н. А. Чистякову (ИАЭТ СО РАН) – за переводы с китайского языка.

Работа поддержана РФФИ (проект № 08-04-01021) и фондом Gerda Henkel Stiftung (грант № AZ 12/ZA/12)

Литература

Злаки СССР. Цвелев Н. Н. / Отв. ред. Ан. А. Федоров. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, Л., 1976. 788 с.

Лысов В. Н. Просо. // Культурная флора СССР. Т. 3. Крупяные культуры (гречка, просо, рис). Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, Л., 1975. С. 119–236.

Королюк Е. А.; Полосьмак Н. В. Растительные остатки из захоронений в 20 и 31 курганах могильника Ноин-Ула (Северная Монголия) // Археология, этнография и антропология Евразии. Н.: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2010. № 2 (42). С. 57–63.

Крадин Н. Н. Империя хунну. М.: Логос. 2002. 312 с.

Руденко С. И. Культура хунну и ноин-улинские курганы. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 203 с.

Полосьмак Н. В., Богданов Е. С., Цзвэ-эндорж Д. Двадцатый ноин-улинский курган. Н.: ИНФОЛИО, 2011. 184 с.

Полосьмак Н. В., Богданов Е. С. На 18 метров в глубину веков // НАУКА из первых рук. 2006, № 6 (12). С. 15–23.

Цвелев Н. Н. Злаки СССР. Отв. ред. Ан. А. Федоров. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, Л., 1976. 788 с.

МИР ГЛАЗАМИ НАУКИ

В этом выпуске в рубрике «Наука в картинках» – работы участников конкурсов разных лет «Наука как искусство», организованных американским Обществом по изучению свойств материалов (MRS), Университетом Клемсона и Университетом Северной Каролины в Чапел Хилл (США), а также российского конкурса «Наука – это красиво!»



Эти полиуретановые ленты, содержащие 5 мас. % полипропилениминовых дендримеров, способны генерировать оксид азота, губительно действующий на инфекционные агенты.
Сканирующая электронная микроскопия. Фото Ю. Лу

Бинты нового поколения

В организме оксид азота (NO (II), двухатомный свободный радикал) продуцируется макрофагами и другими иммунными клетками, участвующими в процессе воспаления: это вещество играет ключевую роль в механизмах врожденного (неспецифического) иммунного ответа на патогены. И в этом смысле оксид азота имеет серьезный фармакологический потенциал. Важным этапом на пути понимания физиологической роли оксида азота и развития соответствующих терапевтических направлений является синтез искусственных веществ, способных производить оксид азота вне организма.

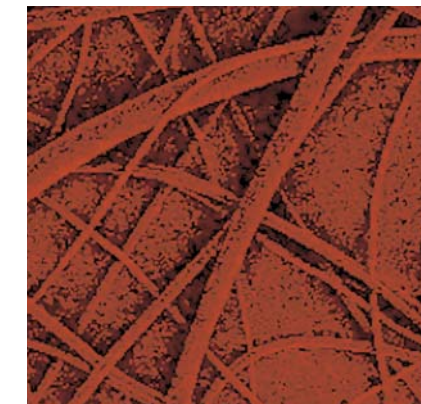
Таковыми веществами стали модифицированные дендримеры – разветвленные органические макромолекулы древовидной структуры (Lu *et al.*, 2011). Скорость выделения NO этими веществами определяется как размерами и формой самих дендримеров (молекулярной массой и степенью разветвленности), так и их внешним окружением.

Исследователям из Университета Северной Каролины (США) удалось получить ряд полипропилениминовых (ППИ) дендримеров, которые можно использовать в качестве добавок к биомедицинским полимерам. Такие ППИ-дендримеры вносили в медицински чистый раствор полиуретана в тетрагидрофуране. Из полученной смеси при помощи методики так называемого электроспиннинга изготавливали полиуретановые ткани, способные выделять NO.

Технология электроспиннинга была разработана еще в 1930-е гг., но интерес к ней возрос в последние годы в связи с возможностью использования этого метода для производства биомедицинских материалов. Суть технологии в том, что раствор полимера подается по игле с помощью шприца с определенной скоростью, в результате чего на конце иглы образуется капля. Сама игла находится под напряжением: при низком напряжении раствор полимера удерживается на кончике иглы за счет сил поверхностного натяжения; при увеличении напряжения капля полимера вытягивается, принимая коническую форму (*конус Тейлора*). При достижении критической величины напряжения сила поверхностного натяжения преодолевается электростатическими силами отталкивания, в результате чего с конца конуса выбрасывается электрически заряженная струя (нить) полимера. Нить оседает на специальную заземленную подложку, и после испарения растворителя на подложке остается сухое полимерное волокно.

Структуру таких волокон можно менять, варьируя физические свойства (вязкость, проводимость и т. п.) исходного полимерного раствора, скорость подачи полимера, а также напряжение, подаваемое на иглу. Когда полимерная пленка формируется на поверхности струи, волокна приобретают форму ленты: после испарения растворителя атмосферное давление сплющивает круглое сечение струи.

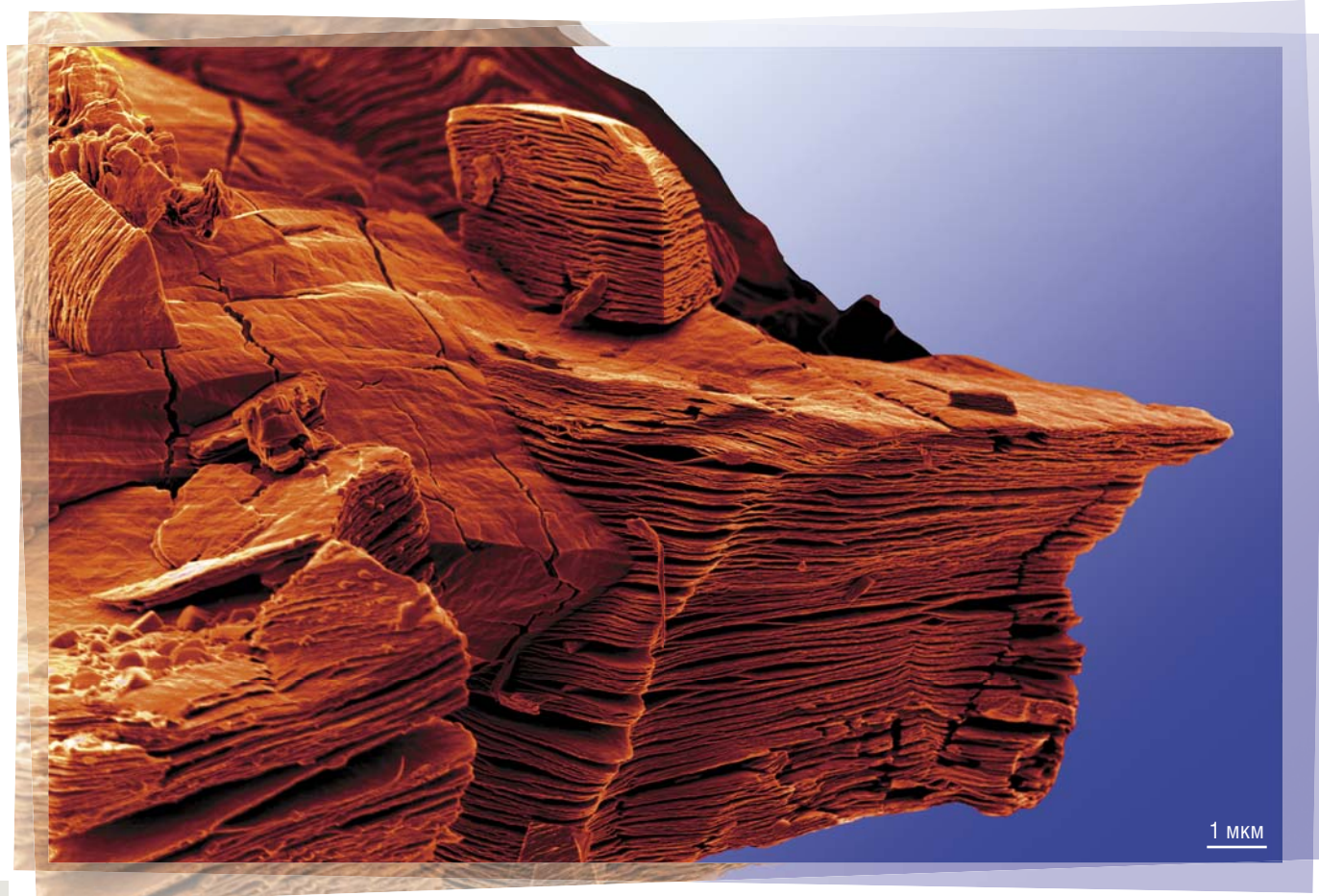
В полученном таким способом биополимере содержание оксида азота достигает достаточно больших величин – примерно 0,1 мкмоль/мг. Такую ткань уже можно использовать в качестве перевязочного материала: оксид азота будет помогать бороться с инфекцией и способствовать заживлению ран.



Ю. Лу, М. Х. Шонфисш (Университет Северной Каролины, Чапел Хилл, США)

© Y. Lu, M.H. Schoenfisch, 2013

Утес двумерного мира



Этот на первый взгляд скальный ландшафт в действительности представляет собой наноматериал из тончайших двумерных пластинок соединения на основе карбида титана.

Электронная микрофотография Б. Анасори (Университет Дрекселя, США)

Image courtesy of the Materials Research Society (www.mrs.org) Science as Art Competition and Babak Anasori, Michel W. Barsoum, Yury Gogotsi and Michael Naguib, Drexel University

Так называемые *двумерные материалы*, т.е. структуры с относительно очень малой толщиной, привлекли внимание ученого сообщества совсем недавно. Самый известный на сегодня двумерный материал – это графен, состоящий из одноатомного слоя углерода. В 2010 г. за исследование электронных свойств графена А. Гейм и К. Новоселов, бывшие советские ученые, стали лауреатами Нобелевской премии по физике.

Благодаря своим необычным свойствам графен находит широкое применение в различных областях – от создания новых композитных материалов до электроники и новых типов электрических батарей. Но это лишь один из представителей большой группы двумерных структур, в которую также входят глины (глиноземы), гексагональный нитрид бора, дисульфид молибдена и другие хорошо известные и широко используемые материалы. Более того, семейство таких материалов продолжает расти по мере открытия новых соединений с двумерной структурой.

Например, двумерной структурой может обладать карбид титана (Ti_3C_2). В сканирующем электронном микроскопе стопки двумерных слоев карбида титана очень напоминают пустынный горный утес.

Эта форма карбида титана входит в новое большое семейство двумерных карбидов и карбонитридов переходных металлов, которые были недавно открыты учеными из Университета Дрекселя (США). Представители этого семейства были названы *МХ-енами*, так как они получаются расщеплением на слои так называемых *МАХ-фаз*.

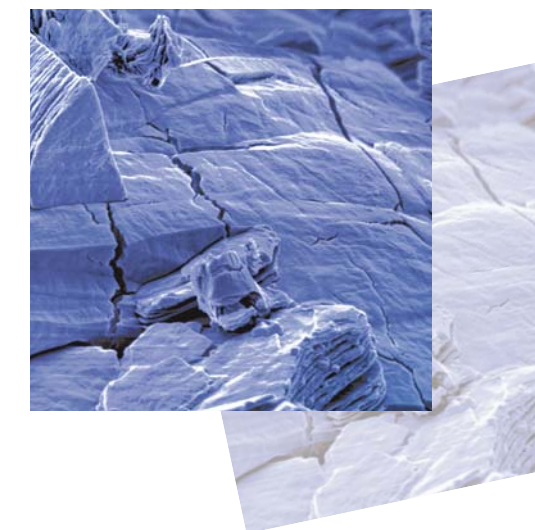
Последние, в свою очередь, образуют еще более обширное семейство тройных карбидов, карбонитридов и нитридов переходных металлов с химической формулой $M_{n+1}AX_n$, где M – переходный металл первых переходных групп (Ti, Cr, Nb и т.п.); A – элемент подгруппы А IV–VI групп (Al, Si, Sn, S, Pb и т.д.); X – углерод или азот; n примет значения от 1 до 3. В настоящий момент известно около тысячи различных МАХ-фаз.

Для получения МХ-ена МАХ-фазу обрабатывают соединением плавиковой кислоты, благодаря чему из него удаляется элемент группы А. В результате получают слабосвязанные слои МХ-фазы, которые далее отделяют друг от друга в водной среде при помощи ультразвука.

Поверхность слоев МХ-енов гидрофильная, но при этом они обладают хорошей электропроводимостью, благодаря чему могут использоваться как аноды для литиевых аккумуляторов и электроды для электрохимических конденсаторов.

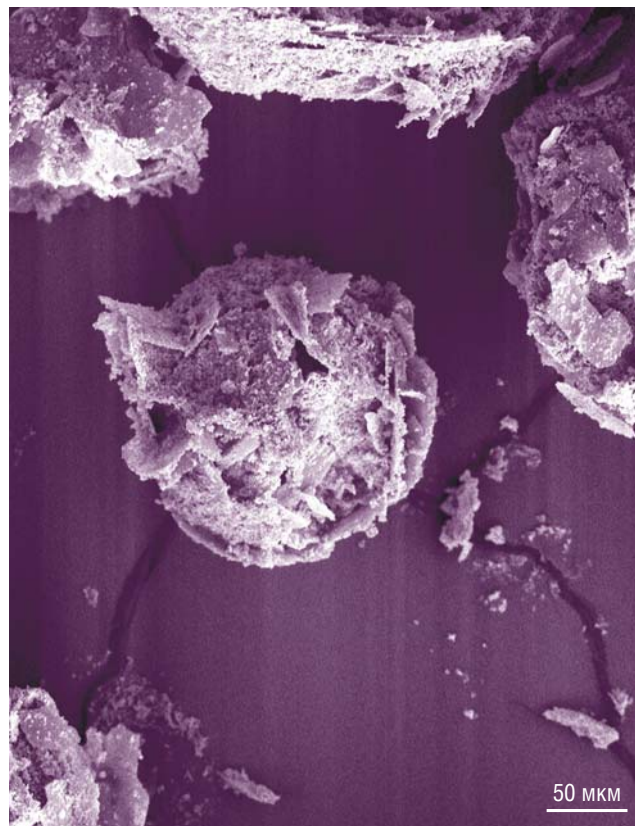
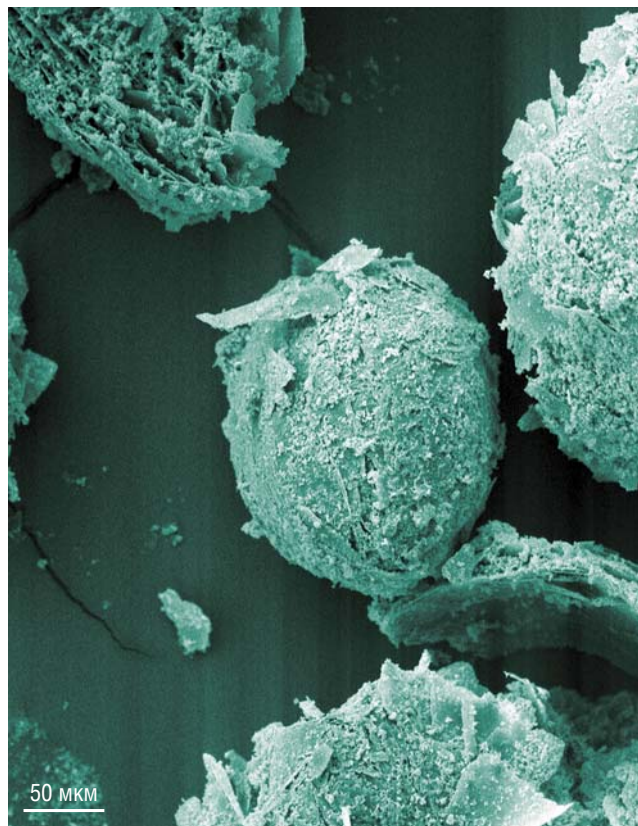
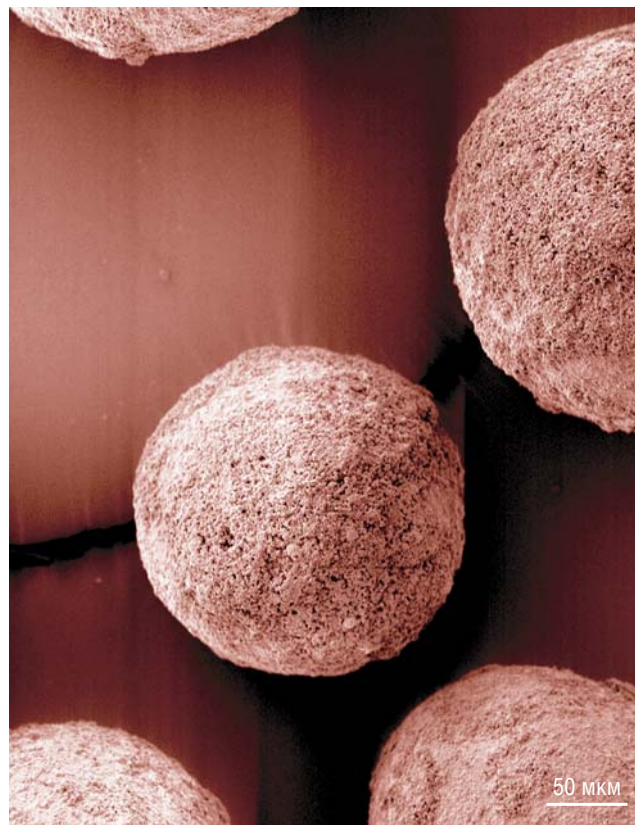
На сегодняшний день успешно получены семь различных МХ-енов. Простота описанной технологии позволяет надеяться, что такие структуры могут быть получены не только в лабораторных, но и в промышленных количествах.

М. Нагиб, Б. Анасори, М.В. Барсум, Ю. Гогоци (Университет Дрекселя, Филадельфия, США)



Литература
Naguib M., Mashtalir O., Carle J., Presser V., Lu J. et al. Two-Dimensional Transition Metal Carbides, *ACS Nano* 6(2) 1322–1331 (2012), <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nm204153h>

© М. Naguib, В. Anasori, М.В. Barsoum, Y. Gogotsi, 2013



НАНОЦВЕТЫ в тефлоновой упаковке

Диоксид углерода (CO_2) – это всем известный углекислый газ, образующийся при сгорании углеродного топлива. Но мало кто знаком с так называемым *сверхкритическим диоксидом углерода*, который отличается совершенно необычными свойствами. С одной стороны, он имеет сравнительно высокую плотность и в этом смысле подобен жидкости; с другой – не имеет свободной фазовой границы, поэтому, подобно газу, заполняет весь предоставленный объем. Более того, как и газы, он является средой, где диффузионные процессы и процессы самоорганизации протекают очень быстро.

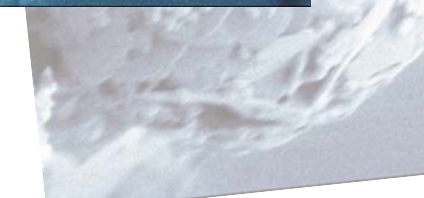
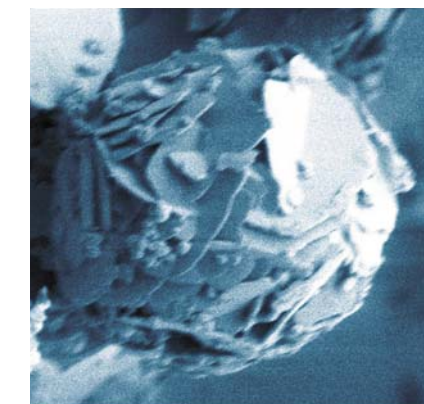
В отличие от обычных растворов в жидкостях, растворы веществ в сверхкритическом диоксиде углерода имеют необычные и полезные технологические характеристики. Поэтому неудивительно, что его используют в качестве активной среды в самых различных химических процессах: при синтезе новых материалов, при пропитке пористых и полимерных матриц различными функциональными агентами, при формировании высокостабильных ультратонких покрытий и т. п.

Кроме того, эту среду используют в производстве кристаллических частиц с повышенной степенью дисперсности, т. е. *наночастиц*. Очень интересным примером в этом смысле служит образование необычных кристаллических наночастиц из *дотриаконтана* – предельного углеводорода с химической формулой $\text{C}_{32}\text{H}_{66}$, способного к спонтанной кристаллизации.

Оказалось, что из диспергированного в сверхкритическом диоксиде углерода расплава высококачистого дотриаконтана при быстром охлаждении формируются очень мелкие кристаллические «наночетвы». С другой стороны, было известно, что помещенные в раствор сверхкритического диоксида углерода частицы тефлона сами не растворяются, но могут стабилизировать капли расплава парафина. Этот процесс – *эмульсификация по механизму Пикеринга* – позволяет сформировать в растворе монодисперсные капли одинакового размера. При последующем же быстром охлаждении получаются отвердевшие капли парафина, покрытые тефлоновой оболочкой. Их ядро имеет аморфную структуру, поскольку парафин, представляющий собой смесь предельных углеводородов, не способен кристаллизоваться. Но что если вместо парафина взять дотриаконтан?

Действительно, в этом случае удастся получить набор одинаковых по размерам композитных частиц, имеющих морфологию сросшихся кристалликов. Таким способом можно формировать частицы фиксированного размера с интересной «морфологией капусты».

Эмульсификация дотриаконтана представляет собой лишь модельную систему, на которой удобно отрабатывать концепцию в целом. Успешные результаты этих исследований позволяют надеяться, что такой подход применим для создания нового класса наночастиц, которые можно будет использовать для создания красителей, систем пролонгированной доставки, катализаторов и во многих других технологических целях.



Д. ф.-м. н. М. О. Галлямов (физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова)

© М. О. Галлямов, 2013

Внутри иглы дикобраза



На фотографии – срез иглы гребенчатого дикобраза. Отчетливо видна сложная поддерживающая система, которая обеспечивает прочность иглы по всей ее длине. Просвечивающая электронная микроскопия. Фото М. Халси, К. Харфманн

Гребенчатый, хохлатый или африканский дикобраз (*Hystrix cristata*), обычно называемый просто дикобразом, – типичный и наиболее известный представитель удивительного семейства дикобразовых. Этот приземистый грызун имеет внушительные размеры, а его вес может достигать 15–20 кг. Отличительная особенность гребенчатого дикобраза – грива из обращенных к хвосту очень длинных, изогнутых и твердых щетин, которые животное может произвольно поднимать и опускать. Остальная верхняя часть тела покрыта сидящими близко друг к другу заостренными иглами разной длины, вплоть до полуметровых.

Эти иглы – главное оружие дикобраза. Если неожиданно захватить животное врасплох, оно начинает топтать ногами, грозно выпрямлять голову, топорщить иглы угрожающим ирокезом и трясти ими, издавая немалый шум. Несмотря на бытующие легенды, дикобразы никогда не «стреляют» своими длинными жесткими иглами. Однако последние держатся в коже непрочно: как у человека выпадают волосы, так и дикобраз теряет множество своих иголок. В Африке местное население использует жесткие пестрые иглы дикобраза для самых разных нужд, в том числе для изготовления украшений.

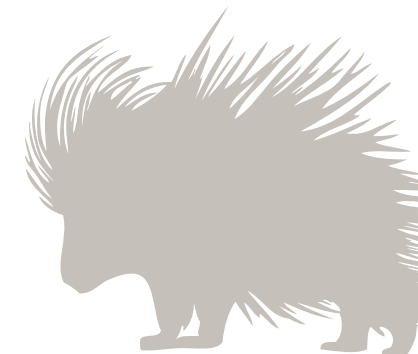
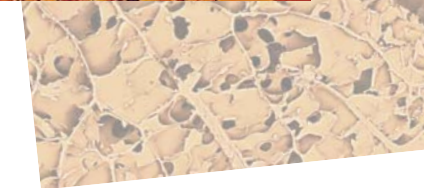
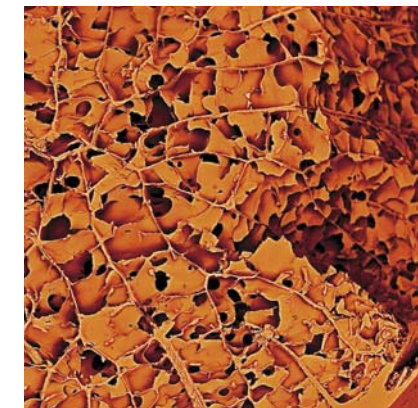
Исчезновение гребенчатому дикобразу пока не грозит, однако он внесен в Международную Красную Книгу, в раздел видов, находящихся под наименьшей угрозой исчезновения.

О структуре и физических свойствах игл дикобраза сегодня мало что известно. Поэтому несколько экземпляров игл гребенчатого дикобраза из Танзании были исследованы на факультете инженерной биологии Университета Клемсона (США).

Ученых в первую очередь интересовали структурные характеристики игл, определяющие их механические свойства. Казалось удивительным, что при плотном внешнем «панцире» иглы дикобразов обладают высокой подвижностью. Исследование, сделанное с помощью электронной микроскопии, показало, что каркас игл состоит из продольных перегородок, проходящих по всей длине иглы и сходящихся в ее центре. Поэтому на разрезе иглы выглядят похожими на велосипедное колесо со спицами. Между перегородками в игле располагается ячеистый материал.

Исследователи предполагают, что именно благодаря такой структуре иглы дикобраза сочетают высокую механическую прочность и подвижность. Не исключено, что дальнейшее изучение этих удивительных природных образований позволит найти им неожиданные практические применения.

Д. Дин, Д. Дежарден (Университет Клемсона, США), М. Халси (Медицинская школа Университета Южной Каролины, США), К. Харфманн (Университет Джона Хопкинса, США), А. Дикс, Т. Янгман (Университет Клемсона, США)



© К. Harfmann, M. Halsey, 2013

ТЕМАТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА «НАУКА из первых рук» за 2004—2012 гг.

ИСТОРИЯ НАУКИ	
2004	
№ 0	К. Лобачев. ЧП СОВЕТСКОЙ АРКТИКИ. Труды и дни геолога Сакса
№ 1	В. И. Молодин, В. А. Ламин. НАУКА И СИБИРЬ. ОТ ПЕТРА I ДО ВЕКА 21-го
№ 1	М. А. Грачев. БАЙКАЛ В МОЕЙ ЖИЗНИ
№ 2 (3)	В. К. Шумный, Л. Е. Овчинникова. «РУССКИЙ СЛЕД» В ОТКРЫТИИ СТРУКТУРЫ ДНК
2005	
№ 1 (4)	А. П. Деревянко. «У МЕНЯ ДУША НОМАДА»
№ 3 (6)	П. М. Бородин. ПРАВДИВАЯ И ПЕЧАЛЬНАЯ ИСТОРИЯ О ФУЭГИИ БАСКЕТ И КАПИТАНЕ ФИЦРОЕ
2006	
№ 1 (7)	АКАДЕМИК ДОБРЕЦОВ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЖИЗНИ
№ 1 (7)	РЫЦАРИ КРУГЛОГО СТОЛА
№ 2 (8)	НАУКА И ОБЩЕСТВО ГЛАЗАМИ ФИЗИКОВ. Круглый стол
№ 4 (10)	В. А. КОПТЮГ: ПУТЬ В НИКУДА ИЛИ В БУДУЩЕЕ? По материалам круглого стола в Новосибирском государственном университете
№ 5 (11)	Г. А. Ковальская, А. А. КОВАЛЬСКИЙ: НА БРАННОМ ПОЛЕ ЦЕПНЫХ РЕАКЦИЙ
2007	
№ 2 (14)	Н. Л. Добрецов. ГАРМОНИЯ ТРИЕДИНСТВА
№ 2 (14)	Д. В. Черемисин. В ПОИСКАХ ОЛЕНЯ-ЗОЛОТЫЕ РОГА
№ 3 (15)	А. А. ТРОФИМУК: «СИБИРЬ ПЛАВАЕТ НА НЕФТИ»
№ 3 (15)	А. Э. Конторович. ФАРМАН САЛМАНОВ: «ПУСТЬ НАС ОБЪЕДИНЯЕТ ЛЮБОВЬ К НАШЕЙ РОДИНЕ – РОССИИ»
№ 4 (16)	СИБИРСКИЙ ПРАЗДНИК НА МОНГОЛЬСКОЙ ЗЕМЛЕ
2008	
№ 4 (22)	В. П. Мыльников. МОЙ АП
№ 5 (23)	АКАДЕМИК ХРИСТИАНОВИЧ: УЧЕНЫЙ, ИНЖЕНЕР, ЧЕЛОВЕК
№ 5 (23)	С. С. Кутателадзе. СОБОЛЕВ ИЗ ШКОЛЫ ЭЙЛЕРА
2009	
№ 1 (25)	ЗЕРКАЛЬНАЯ АСИММЕТРИЯ В АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЯХ. К 30-летию открытия новосибирских физиков
№ 2 (26)	ПУТЬ НА ВОСТОК. К юбилею академика М. А. Грачева
№ 3 (27)	НЕФТЬ – ЭТО ГЛОБАЛЬНО! О присуждении премии «Глобальная энергия»
№ 4 (28)	С. В. Нетесов. ВОЗВРАЩЕНИЕ В АЛЬМА-МАТЕР
№ 4 (28)	Н. П. Похиленко. ИЗ ИСКРЫ РАЗДУВАЕТ ПЛАМЯ
№ 4 (28)	П. М. Бородин. УНИВЕРСИТЕТСКАЯ ПАРАЛЛЕЛЬ
№ 4 (28)	Е. И. Пальчиков. МАГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
№ 4 (28)	М. И. Эпов. ИЗ ГЛУБИНЫ СИБИРСКИХ РУД...
№ 4 (28)	С. В. Сухинин. БЫТЬ ЕДИНЫМ ЦЕЛЫМ

№ 4 (28)	А. Е. Бондарь. СТРАНЕ НУЖНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛИ!
№ 4 (28)	Н. В. Полосьмак. ПРОФЕССИЯ – АРХЕОЛОГ
№ 4 (28)	Е. В. Болдырева. РАДОСТЬ УЧИТЬСЯ, РАДОСТЬ БЫТЬ УЧИТЕЛЕМ
№ 4 (28)	В. В. Титов. ЗА ПОЛЧАСА ДО «БОЛЬШОЙ» ВОЛНЫ
№ 4 (28)	Д. О. Жарков. ЗАМЕТКИ НА ПОЛЯХ
№ 5 (29)	М. В. Кабанов. «ЗДЕСЬ НАУКУ БУДУТ ЛЕЛЕЯТЬ...» Страницы академической истории Томска
2010	
№ 1 (31)	Т. Ю. Гнатюк, Т. И. Юсупова. В СВОБОДНОМ ПОЛЕТЕ. Е. В. Козлова – ученый, путешественница, жена
№ 2 (32)	Д. В. Ширков. ЦАРЬ-СНАРЯД ДЛЯ АТОМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ
№ 2 (32)	Г. В. Сакович. ГАРАНТИРОВАННАЯ НАДЕЖНОСТЬ.
№ 2 (32)	Н. Л. Добрецов, В. М. Фомин. СИБИРСКАЯ БАЗА ПОДВОДНОГО ФЛОТА
№ 2 (32)	М. А. Грачев. СЛОВО И ДЕЛО В ЗАЩИТУ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
№ 3 (33)	В. Н. Сойфер. ЖАН БАТИСТ ЛАМАРК – СОЗДАТЕЛЬ ПЕРВОГО ЭВОЛЮЦИОННОГО УЧЕНИЯ
№ 4 (34)	В. Н. Сойфер. ЧАРЛЗ ДАРВИН И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ТЕОРИЯ
2011	
№ 1 (37)	В. Е. Зарко. «...МЫ СМОГЛИ БЫ ТАКИЕ ВЕНЗЕЛЯ ВЫПИСЫВАТЬ ПО ВСЕЛЕННОЙ!»
№ 1 (37)	Е. М. Щукина. ЗЕМНАЯ ПРОЕКЦИЯ ЗВЕЗДНОЙ СУДЬБЫ
№ 2 (38)	Н. Л. Добрецов. УРОКИ КОПТЮГА
№ 2 (38)	В. А. Коптюг. СТРАНИЦЫ ДЕТСТВА И ЮНОСТИ
№ 2 (38)	О. М. Нефедов. ОТ ХИМИИ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ
№ 2 (38)	В. А. Коптюг. ПОВЕСТКА ДНЯ НА XXI ВЕК. Концепция устойчивого развития и социально-политические движения
№ 2 (38)	А. К. Петров. ПЛАНЕТА У НАС ОДНА
№ 4 (40)	Н. П. Копанева. МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ: «к приумножению пользы и славы Отечества»
№ 4 (40)	Е. М. Лупанова. НОЧЕЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА, МОРСКОЙ ЖЕЗЛ И БОЛЬШОЙ ПЕНДУЛ КОНСТРУКЦИИ ЛОМОНОСОВА
№ 4 (40)	Н. А. Копанев. КНИЖНЫЙ ОФОРМИТЕЛЬ МИХАЙЛО ЛОМОНОСОВ
№ 4 (40)	ОПТИМИСТ В ПОИСКАХ НЕФТИ. К 100-летию со дня рождения академика А. А. Трофимука
№ 5 (41)	И. С. Дмитриев. «ДУШИ ОТЧАЯННОЙ ПРОТЕСТ»
№ 5 (41)	М. Ф. Хартанович. ОДИН ОПЫТ ВЫШЕ ТЫСЯЧИ МНЕНИЙ. Первая химическая лаборатория Академии наук
2012	
№ 3 (45)	В. Д. Шильцев, И. Н. Нестеренко. «ФОРТУНУ ВИЖУ Я В ТЕБЕ ИЛИ ВЕНЕРУ...»
№ 3 (45)	Н. А. Копанев. «ЗДОРОВОЕ ТЕЛО СЛУЖИТ ЗДОРОВОМУ ДУХУ...» К 300-летию со дня рождения Жан-Жака Руссо
№ 4 (46)	Л. К. Кильдюшевская. АТЛАНТ МИРОВОЙ КАРТОГРАФИИ
№ 5 (47)	А. Беленький. «ВОДЫ, В КОТОРЫЕ Я ВСТУПАЮ, НЕ ПЕРЕСЕКАЛ ЕЩЕ НИКТО». Александр Фридман и истоки современной космологии

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ	
2005	
№ 2 (5)	С. А. Язев. САЯНСКАЯ СОЛНЕЧНАЯ
№ 2 (5)	С. В. Сухинин. СОЛОВЕЙ-РАЗБОЙНИК И КОТ БАЮН В ВАШЕМ АВТОМОБИЛЕ
№ 3 (6)	В. А. Собынин, В. А. Кириллов. НА ПОРОГЕ ВОДОРОДНОЙ ЭРЫ
2006	
№ 1 (7)	ЭКСКУРСИЯ ПО ГОСУДАРСТВУ ИЯФ
№ 2 (8)	ЭКСКУРСИЯ ПО ГОСУДАРСТВУ ИЯФ: ТАМ, ГДЕ РОЖДАЮТСЯ ЧАСТИЦЫ
№ 3 (9)	А. К. Петров. ЛСЭ: МЯГКОЕ ПРИКОСНОВЕНИЕ ЛАЗЕРА
№ 3 (9)	А. В. Кузьмин, А. С. Лахтычкин. ЭКСКУРСИЯ ПО ГОСУДАРСТВУ ИЯФ: ДА БУДЕТ СВЕТ!
№ 3 (9)	С. В. Сухинин. ЭФФЕКТ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ
№ 3 (9)	С. А. Язев, В. С. Пещеров. КОРОНАЦИЯ ЧЕРНОГО СОЛНЦА
№ 5 (11)	А. Г. Полещук, В. П. Коронкевич. НОВЫЙ ОБЛИК ОПТИКИ
№ 5 (11)	М. А. Могилевский. ОПТИКА ОТ ЛЕОНАРДО
2007	
№ 1 (13)	В. Б. Кашкин, Р. Г. Хлебоброс. ОЗООНОВЫЕ ДЫРЫ – «ДЕТИ» СТРАТОСФЕРНЫХ ВИХРЕЙ
№ 2 (14)	ЛСЭ: НЕЖНО И ТОЧНО
№ 2 (14)	Е. В. Болдырева. МЕЖ АЛМАЗНЫХ НАКОВАЛЕН
№ 2 (14)	МАСТЕР-СИ
№ 2 (14)	Ю. Н. Молин, Ю. Д. Цветков. СИЛА СЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
№ 2 (14)	А. В. Козырев, И. В. Пегель. ТОМСКИЙ ИМПУЛЬС
№ 2 (14)	УСКОРИТЕЛИ ЧАСТИЦ – МИКРОСКОПЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ
№ 4 (16)	Е. В. Карпова. ВСЕ КРАСКИ МИРА
№ 5 (17)	А. А. Шошин, А. В. Аникеев. ЛОВУШКА ДЛЯ ТЕРМОЯДА
№ 5 (17)	М. А. Могилевский. ЛЕОНАРДО О ПРИРОДЕ ВОДЫ
2008	
№ 4 (22)	С. А. Язев. В МОНГОЛИЮ ЗА «РУССКИМ ЗАТМЕНИЕМ»
№ 6 (24)	О. И. Ломовский. ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ. Инновационные технологии механохимии
№ 6 (24)	НАУКА ЖЕНСКОГО РОДА. Рукотворные кристаллы Софьи Артемкиной
2009	
№ 1 (25)	А. М. Черепашук, А. Д. Чернин. КОСМОЛОГИЯ: ОТКРЫТИЯ И ЗАГАДКИ
№ 2 (26)	Э. Г. Косцов. ОБРАТИМЫЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ «КЛЕЙ»
№ 2 (26)	Т. Г. Волова. ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПЛАСТИК ДЛЯ МЕДИЦИНЫ
№ 2 (26)	С. Я. Язев. ШУСТРАЯ ЛУЛИНЬ
№ 3 (27)	А. Н. Гончаров. НОВОЕ ВРЕМЯ
№ 3 (27)	Н. И. Кабанов, А. А. Скляр. ВОЛНЫ В КОРОНАЛЬНЫХ ДЫРАХ НА СОЛНЦЕ
№ 3 (27)	А. Р. Нестеренко. АСТРОНОМИЯ И ОБЩЕСТВО
№ 3 (27)	В. Ф. Анисичкин, А. А. Безбородов. ЯДЕРНАЯ ТОПКА ЗЕМЛИ
№ 4 (28)	И. П. Поздняков. СВЕТ ОЧИЩАЮЩИЙ
№ 4 (28)	А. В. Матвеев. ОКСИД УГЛЕРОДА В ЦВЕТЕ

№ 4 (28)	Е. В. Болдырева. НА ТВЕРДЫХ ПРИНЦИПАХ. Химия твердого тела в НГУ
№ 4 (28)	А. Е. Бондарь. ПЕРЕД СТАРТОМ В МИКРОКОСМ. Коллайдер готовится к запуску
№ 5 (29)	А. В. Козырев, И. В. Пегель. «ЕСТЬ ТОЛЬКО МИГ...»
№ 5 (29)	Л. И. Мальцев. НА ГРЕБНЕ УГОЛЬНОЙ ВОЛНЫ
№ 5 (29)	М. В. Панченко, Б. Д. Белан. СМОТРЯЩИЕ ЗА АТМОСФЕРОЙ
№ 6 (30)	Т. И. Батурина, В. М. Винокур, А. Ю. Мионов. СВЕРХИЗОЛЯТОР: СВЕРХПРОВОДНИК НАОБОРОТ
2010	
№ 1 (31)	К. Ю. Марюнина. «ДЫШАЩИЕ» КРИСТАЛЛЫ
№ 2 (32)	Б. И. Стурман, А. М. Шалагин. ОПТИЧЕСКАЯ ЧИСТКА НИОБАТА ЛИТИЯ
№ 2 (32)	В. П. Доронин. ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЫРЬЯ ДЛЯ НЕФТЕХИМИИ
№ 2 (32)	В. Г. Меледин. 3D ДИАГНОСТИКА – ПРОСТО, ТОЧНО, ДОСТУПНО
№ 2 (32)	В. В. Пархомчук. «ИОННАЯ» ТЕРАПИЯ РАКА
№ 2 (32)	А. Т. Алтынцев, С. В. Лесовой. СМОТРИМ ЗА СОЛНЦЕМ
№ 3 (33)	Н. А. Винокуров. НА БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНАХ
№ 3 (33)	В. П. Попов. ТОНЧАЙШИЙ ДИАГНОСТ
№ 3 (33)	В. Е. Панин. ПУТЬ В ГЛУБИНЫ ТВЕРДОГО ТЕЛА
№ 3 (33)	В. Н. Пармон. ВОЛШЕБСТВО КАТАЛИЗА
№ 3 (33)	А. С. Аньшаков, Э. К. Урбах. ЧИСТЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ КРЕМНИЙ
№ 4 (34)	И. И. Бетеров. РИДБЕРГОВСКИЕ АТОМЫ ДЛЯ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА
№ 4 (34)	С. А. Язев. ЗОЛОТАЯ КОРОНА РАПА-НУИ (фоторепортаж)
№ 4 (34)	В. А. Яковлев. ТОПЛИВО ИЗ МАСЛА И ОПИЛОК
№ 5 (35)	С. А. Язев. НАБЕГ НА НАСКУ. Записки путешественника
№ 5 (35)	А. С. Верещагин. СТЕКЛЯННЫЕ ШАРИКИ ДЛЯ СОЛНЕЧНОГО ГАЗА
№ 6 (36)	Е. В. Пересыпкина. КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКАЯ МОЗАИКА
№ 6 (36)	Л. В. Ксанфомалити. СВЕТЛЫЕ ТЕНИ
2011	
№ 1 (37)	В. Н. Ярыгин. ЗАЩИТА ОТ РАКЕТНЫХ ВЫХЛОПОВ
№ 1 (37)	В. А. Деревянко. КОГДА В КОСМОСЕ ЖАРКО
№ 1 (37)	Б. С. Долговесов. ВИРТУАЛЬНОЕ ЗЕРКАЛО ВСЕЛЕННОЙ
№ 1 (37)	А. В. Батраков. ПРИНЦИП КЕРОСИНОВОЙ ЛАМПЫ
№ 1 (37)	П. Г. Папушев. НА ОРБИТЕ СТАНОВИТСЯ ТЕСНО
№ 1 (37)	В. Н. Антонов. ТРЕТЬЯ ОТ СОЛНЦА
№ 2 (38)	В. Г. Шубин, В. Д. Штейнгарц. УГЛЕРОД С ПЛЮСОМ
№ 2 (38)	И. В. Коптюг. ЯМР: РАЗДВИГАЯ ГРАНИЦЫ ВОЗМОЖНОГО
№ 3 (39)	О. П. Пчеляков. В КИЛЬВАТЕРЕ – ВАКУУМ
№ 3 (39)	А. В. Медведев. ПРОГНОЗ «КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ»
№ 4 (40)	А. Ю. Гармаш. КВАРТЕТ ИЗ КВАРКОВ
№ 4 (40)	Д. А. Гаврилов, Т. С. Гаврилова, Н. Б. Преображенский. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ: ОДНИМ ВЗГЛЯДОМ
№ 4 (40)	А. Я. Болсуновский. КРАСНОЯРСКИЙ СЛЕД «ФУКУСИМЫ»
№ 4 (40)	С. Ю. Таскаев. ВИТА ЗНАЧИТ ЖИЗНЬ. Бор-нейтронозахватная терапия рака

№ 4 (40)	<i>В. Е. Панин, А. С. Коротеев, В. П. Сергеев, Р. Н. Ризаханов.</i> В РАКЕТНОМ ГОРНИЛЕ
№ 5 (41)	<i>Л. Г. Булушева, А. В. Окотруб.</i> ФТОРОГРАФЕН – НОВАЯ ИСТОРИЯ СТАРЫХ МАТЕРИАЛОВ
№ 5 (41)	<i>С. Ф. Василевский, А. И. Говди.</i> ЛЕКАРСТВА ИЗ БЕРЕСТЫ
№ 5 (41)	<i>В. М. Тормышев, И. А. Григорьев.</i> ТРИТИЛЬНЫЕ РАДИКАЛЫ: 111 ЛЕТ ИСКАНИЙ И НАХОДОК
№ 5 (41)	<i>О. П. Коробейничев, А. Г. Шмаков.</i> ПО СЛЕДАМ ПРОМЕТЕЯ
№ 5 (41)	<i>А. П. Чулахин, А. А. Сидельников, А. А. Матвиенко, С. А. Чижик.</i> ИЗ ТВЕРДОГО – В ТВЕРДОЕ. <i>Механика химических превращений</i>
№ 5 (41)	<i>В. А. Резников.</i> ТАКИЕ РАЗНЫЕ РАДИКАЛЫ
№ 5 (41)	«ХИМИЯ В НГУ». <i>Учебные пособия для студентов и школьников</i>
№ 5 (41)	<i>Н. А. Мезенцев.</i> САМЫЙ ЯРКИЙ СИ-ГЕНЕРАТОР
№ 6 (42)	<i>Н. В. Косова.</i> ЛИТИЙ В ЛИДЕРАХ. <i>Химические источники тока</i>
№ 6 (42)	<i>Р. В. Гуляев.</i> СОЦИАЛЬНАЯ ЖИЗНЬ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ
2012	
№ 1 (43)	<i>С. К. Голушко, Г. П. Чейдо, С. Р. Шакиров.</i> НА ПУТИ К БЕЗЛЮДНОЙ ШАХТЕ
№ 1 (43)	<i>В. Е. Блинов.</i> НОВАЯ КОСМОЛОГИЯ ДЛЯ СТАРОЙ ВСЕЛЕННОЙ
№ 1 (43)	<i>В. Е. Блинов.</i> ПОД ЧУЖИМ СОЛНЦЕМ
№ 1 (43)	<i>В. Я. Принц.</i> ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ «МАГИЯ» СВЕРХМАТЕРИАЛОВ
№ 1 (43)	<i>Г. В. Ечевский.</i> НОВЫЕ ЦЕОЛИТЫ: ВСЕ ВКЛЮЧЕНО
№ 1 (43)	<i>Л. В. Кулик.</i> КАК «УСТРОЕН» ФОТОСИНТЕЗ
№ 1 (43)	<i>А. Р. Оганов.</i> USPEX: КОГДА ФОРМА ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ СОДЕРЖАНИЕМ
№ 2 (44)	<i>В. Н. Шлегель.</i> ЗА ГРАНЬЮ КРИСТАЛЛА-ЦИНТИЛЛЯТОРА
№ 3 (45)	<i>Ю. А. Тихонов.</i> В ПОИСКАХ НАЧАЛА ВСЕХ НАЧАЛ
№ 3 (45)	<i>С. А. Бабин.</i> ЛАЗЕР БЕЗ ЗЕРКАЛ
№ 3 (45)	<i>М. А. Ядренкин.</i> ВИРТУАЛЬНЫЙ ПАРАШЮТ: ОТ ФАНТАСТИКИ К РЕАЛЬНОСТИ
№ 3 (45)	<i>О. С. Иванова, А. Е. Баранчиков, В. К. Иванов.</i> КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ «ТРАНСФОРМЕР»
№ 3 (45)	<i>О. С. Иванова, А. Е. Баранчиков, В. К. Иванов.</i> КРИСТАЛЛ: ВСПОМНИТЬ ВСЕ
№ 3 (45)	<i>А. Г. Огиенко, Е. Г. Зевак, А. А. Огиенко, С. А. Мызь.</i> В ИНГАЛЯТОРЕ – «НАНО»
№ 3 (45)	<i>Г. В. Струков, Г. К. Струкова.</i> «ОЖИВШИЙ» МЕТАЛЛ
№ 4 (46)	<i>В. В. Пархомчук.</i> ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
№ 4 (46)	<i>Дж. Гринволд, Э. Старкман.</i> ЖЕЛЕЗНЫЙ ЛОТОС
№ 5 (47)	<i>А. П. Ковчавцев.</i> ТЕПЛОВИЗОР: ЛУЧШЕ ОДИН РАЗ УВИДЕТЬ
№ 5 (47)	<i>А. А. Дектерев, А. В. Минаков, Д. В. Платонов.</i> САЯНО-ШУШЕНСКАЯ ГЭС: СЕМЬ РАЗ ОТМЕРИТЬ
№ 5 (47)	<i>А. А. Дектерев, Е. С. Тэлфер, М. Ю. Чернецкий.</i> УГОЛЬНАЯ ТОПКА – ДЕЛО ТОНКОЕ
№ 6 (48)	<i>В. Д. Шильцев.</i> БОЗОН ХИГГСА – ПОСЛЕДНИЙ АККОРД ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ?
№ 6 (48)	<i>В. Д. Шильцев.</i> КИТАЙСКИЙ КЛЮЧ К РАЗГДКЕ АНТИМАТЕРИИ
№ 6 (48)	<i>В. Д. Шильцев.</i> РУССКИЕ КОРНИ РЕНТГЕНОВСКОГО ЛАЗЕРА
№ 6 (48)	<i>Г. Н. Кулипанов.</i> ОТ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО К РЕНТГЕНОВСКОМУ
№ 6 (48)	<i>Ю. Лу, М. Х. Шонфши.</i> ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ЛЕНТЫ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНЫ
№ 6 (48)	<i>М. Нагиб, Б. Анасори, М. В. Барсум, Ю. Гогоци.</i> УТЕС ДВУМЕРНОГО МИРА

НАНОТЕХНОЛОГИИ	
2006	
№ 4 (10)	<i>Р. Кроуфорд, И. Гибшубер, К. Таматраколын, М. Хильдебранд.</i> МИНИ-НАНОИНЖЕНЕРЫ
2007	
№ 1 (13)	<i>Д. В. Калинин, В. В. Сердобинцева, А. И. Плеханов.</i> ОТ ДРАГОЦЕННОГО ОПАЛА – К НАНОПЛЕНКАМ
№ 2 (14)	<i>А. Л. Асеев.</i> ОТКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ
№ 2 (14)	<i>В. Е. Панин, В. П. Сергеев.</i> НАНОСТРУКТУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ: ЭФФЕКТ «ШАХМАТНОЙ ДОСКИ»
№ 2 (14)	НАНОРАЗНООБРАЗИЕ
№ 3 (15)	<i>А. В. Ненашев, Д. В. Щеглов, Л. И. Федина.</i> СИБИРСКИЙ НАНОФОРУМ
№ 4 (16)	<i>Д. В. Калинин, В. В. Сердобинцева.</i> ОТ БЛАГОРОДНОГО ОПАЛА К НАНОПЛЕНКАМ
2008	
№ 5 (23)	<i>А. Л. Асеев.</i> НАНОТЕХНОЛОГИИ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА
№ 6 (24)	НАНОМИР СТАЛ ТЕСНЕЕ
2009	
№ 1 (25)	НАНОЭЛЕКТРОНИКУ ЖДЕТ ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ
№ 2 (26)	<i>А. В. Окотруб, П. С. Галкин.</i> ТРУБКИ – НАНО, КОНДЕНСАТОРЫ – СУПЕР!
№ 2 (26)	<i>И. А. Кирилюк.</i> НАНОРАЗМЕРНЫЕ ЗОНДЫ В БИОФИЗИКЕ
№ 2 (26)	МОЛЕКУЛЫ: ДЕЛИМ, ГРУЗИМ, ВОЗИМ. <i>Нанопористые полимеры в медицине и энергетике</i>
№ 3 (27)	<i>В. Е. Панин, В. П. Сергеев.</i> НАНО ДЛЯ КОСМОСА
№ 3 (27)	<i>А. В. Аржанников, А. А. Шкляев, В. А. Володин.</i> РАЗДВИГАЯ ГОРИЗОНТЫ НАНОМИРА
2010	
№ 1 (31)	<i>С. В. Хартов.</i> УМНЫЕ НАНОПАЛЬЦЫ
№ 2 (32)	<i>А. М. Оришич.</i> ЛАЗЕРНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СВАРКИ
№ 2 (32)	<i>Ю. П. Шаркеев.</i> ПРИКУС ТИТАНОВОЙ ПРОЧНОСТИ
2011	
№ 6 (42)	<i>Г. В. Сакович.</i> АЛМАЗЫ, РОЖДЕННЫЕ ВЗРЫВОМ
№ 6 (42)	<i>Л. Г. Булушева, А. В. Окотруб, С. В. Ларионов.</i> НАНОТРУБКА, ЗАЖГИСЬ!
2012	
№ 4 (46)	<i>Л. Виттейкер, Ю.-Л. Лу.</i> НЕ БЫВАЕТ РОЗЫ БЕЗ ШИПОВ
№ 5 (47)	<i>М. де Вольдер, С. Тофик, А. Д. Харт.</i> НАНОКОНСТРУКТОР: СДЕЛАЙ САМ
№ 5 (47)	<i>Г. К. Струкова, Г. В. Струков.</i> КОГДА МЕТАЛЛ РАСТЕТ КАК ЦВЕТОК
№ 6 (48)	<i>М. О. Галлямов.</i> НАНОЦВЕТЫ В ТИФЛОНОВОЙ УПАКОВКЕ
МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА	
2005	
№ 1 (4)	<i>В. М. Фомин, Ю. П. Гунько, И. И. Мажуль.</i> РЕАКТИВНЫЕ САМОЛЕТЫ БУДУЩЕГО
№ 2 (5)	<i>А. В. Тетенов.</i> НЕМНОГО О ФРАКТАЛАХ
№ 3 (6)	<i>В. М. Фомин, Ю. П. Гунько, И. И. Мажуль.</i> ЭВОЛЮЦИЯ РЕАКТИВНЫХ САМОЛЕТОВ (продолжение)

2006	
№ 2 (8)	<i>А. Д. Медных.</i> ТРЕХМЕРНЫЙ МИР, В КОТОРОМ МЫ НЕ ЖИВЕМ
№ 6 (12)	<i>Э. Краузе.</i> МНОГОЛИКИЕ ВИХРИ
2007	
№ 2 (14)	<i>В. М. Фомин, С. М. Аульченко, А. Ф. Латыпов.</i> ЗА ЗВУКОВЫМ БАРЬЕРОМ
№ 3 (15)	<i>В. М. Фомин, С. М. Аульченко, А. Ф. Латыпов.</i> СО СКОРОСТЬЮ ЗВУКА
№ 4 (16)	<i>Ф. С. Быковский, С. А. Ждан, Е. Ф. Ведерников.</i> НА ПУТИ К ДЕТОНАЦИОННОМУ ДВИГАТЕЛЮ
№ 4 (16)	<i>В. А. Суюшев.</i> ОТ ЛАМИНАРНОГО ПЛАМЕНИ ДО ТОРНАДО, ИЛИ ЧЕМ ПЛОСКОЕ ПЛАМЯ ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ДЕТОНАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ
2008	
№ 5 (23)	ХРУСТАЛЬНЫЕ КРЫЛЬЯ. <i>Кольцо Людвиг Прандтля вручено сибирскому ученому</i>
№ 5 (23)	«ПРИЕХАТЬ НА СОБОЛЕВСКУЮ КОНФЕРЕНЦИЮ – МОЙ ДОЛГ»
2009	
№ 2 (26)	<i>В. К. Гусьяков, И. В. Маринин.</i> ЦУНАМИ НА ЭКРАНЕ
№ 3 (27)	<i>В. Ф. Чиркашенко.</i> СВЕТ ПРОТИВ ЗВУКА
№ 3 (27)	<i>Э. Краузе, А. М. Харитонов.</i> АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ БУДУЩЕГО
2010	
№ 2 (32)	<i>В. Ф. Косарев.</i> ОТ ПЛАВЛЕНИЯ К УСКОРЕНИЮ
№ 2 (32)	<i>В. П. Лукашов, С. П. Ващенко.</i> НОВЫЕ РУБЕЖИ ПЛАЗМОТРОНОВ
№ 3 (33)	<i>И. В. Наумов, В. Л. Окулов.</i> МНОГОСПИРАЛЬНЫЕ ВИХРИ
№ 6 (36)	<i>М. П. Голубев.</i> УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ
2011	
№ 1 (37)	<i>В. М. Фомин.</i> КОСМИЧЕСКИЙ УРОК РУССКОГО
№ 1 (37)	<i>В. М. Фомин, А. П. Латыпов.</i> ИЗ АТМОСФЕРЫ – В КОСМОС
НАУКИ О ЗЕМЛЕ	
2004	
№ 1	<i>П. П. Шерстянкин, М. Де Батист.</i> ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ: ПУТЕШЕСТВИЕ ПО БАЙКАЛЬСКОМУ ДНУ
№ 1	<i>А. В. Иванов.</i> ОДИН РИФТ – ДВЕ МОДЕЛИ
№ 2 (3)	<i>Я. Клеркс.</i> ГАЗОГИДРАТЫ ПРЕСНОВОДНОГО «ОКЕАНА»
2005	
№ 2 (5)	<i>М. В. Панченко.</i> БАЙКАЛ, ШАМΠΑНСКОЕ, КИТО...
№ 3 (6)	<i>М. И. Кузьмин.</i> ПРОГНОЗ ПОГОДЫ НА 8 МЛН ЛЕТ НАЗАД
№ 3 (6)	<i>Е. А. Елкин, Г. М. Прашкевич.</i> У БЕРЕГОВ АНГАРИДЫ. <i>Уроки палеонтологии</i>
2006	
№ 1 (7)	<i>А. Д. Павлушин.</i> САГА О НЕСОСТОЯВШИХСЯ БРИЛЛИАНТАХ
№ 2 (8)	<i>С. В. Наугольных.</i> ЖИВЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
№ 3 (9)	<i>Е. М. Высоцкий, И. С. Новиков, А. Р. Агатов.</i> КОГДА РУШИТСЯ ЗЕМНАЯ ТВЕРДЬ. <i>Чуйское землетрясение Горного Алтая</i>
№ 4 (10)	<i>Э. И. Лосева, Р. Кроуфорд, А. Ю. Гладенков, Д. Смол, М. Дуглас, М. Полен, Т. А. Гребенникова.</i> ЛЕТОПИСЬ ПЛАНЕТЫ ПО ДИАТОМЕЯМ
№ 6 (12)	<i>В. В. Ружич, С. Г. Псахье.</i> БРОСИТЬ ВЫЗОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ
№ 6 (12)	<i>Е. А. Ваганов, С. В. Верховец.</i> КРАСНОЯРСКАЯ ЭЙФЕЛЕВА

2007	
№ 1 (13)	<i>В. Е. Репин, Е. В. Дейнека, А. Н. Симонов, О. В. Пестунова, Н. А. Колчанов, В. В. Власов, И. Г. Прокопкин.</i> ПУТЕШЕСТВИЕ В ГОРЯЧУЮ ТОЧКУ
№ 2 (14)	<i>В. В. Ружич.</i> ЛЬДОТРАСЕНИЕ КАК ТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
№ 2 (14)	ТОПЛИВО БУДУЩЕГО
№ 2 (14)	БАЙКАЛ – ПРИРОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
№ 2 (14)	<i>Е. Л. Гольдберг.</i> БАЙКАЛЬСКАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ЛЕТОПИСЬ
№ 3 (15)	<i>К. Бунама, В. фон Блох, З. Франк.</i> КОНЕЦ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ ЗЕМЛЯ
№ 4 (16)	<i>Н. П. Похиленко.</i> АЛМАЗНЫЙ ПУТЬ ДЛИНОЮ В 3 МИЛЛИАРДА ЛЕТ
№ 4 (16)	<i>Ю. Н. Пальянов.</i> АЛМАЗ СЕГОДНЯ И ЗАВТРА
2008	
№ 1 (19)	<i>Ю. Н. Пальянов.</i> ГДЕ РАСТУТ АЛМАЗЫ
№ 2 (20)	<i>В. П. Самусиков.</i> САМОРОДКИ – ЗОЛОТАЯ ЗАГАДКА ПРИРОДЫ <i>Фоторепортаж А. Прокопьева</i>
№ 4 (22)	<i>О. М. Хлыстов.</i> ИСКОПАЕМЫЙ ОГОНЬ БАЙКАЛА
№ 5 (23)	<i>В. В. Ружич и др.</i> ПО СЛЕДАМ БАЙКАЛЬСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ
№ 6 (24)	<i>А. Ю. Попов, Л. Г. Вакулenco.</i> СЕДИМЕНТОЛОГИЯ – КЛЮЧ К ПРОШЛОМУ ЗЕМЛИ
№ 6 (24)	<i>В. П. Афанасьев.</i> «АТЛАСЬ МИНЕРАЛОВЪ»
2009	
№ 2 (26)	<i>А. П. Смелов.</i> ЯКУТИЯ ПРИРАСТАЕТ КИМБЕРЛИТАМИ
№ 2 (26)	<i>В. А. Каширцев.</i> МОЛОДАЯ НЕФТЬ БАЙКАЛА
№ 2 (26)	<i>С. К. Кривоногов.</i> АРАЛ СУДОХОДНЫЙ И СУХОПУТНЫЙ
№ 3 (27)	<i>Н. Г. Гранин.</i> ОКОЛЬЦОВАННЫЙ БАЙКАЛ
№ 3 (27)	<i>В. П. Афанасьев.</i> РОДОСЛОВНАЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА
№ 5 (29)	<i>А. В. Костин.</i> «ЖИВОЕ» СЕРЕБРО ОЛОНХО
2010	
№ 2 (32)	<i>О. М. Хлыстов, Л. Наудс, М. де Батист.</i> БАЙКАЛ ИЗМЕРИЛИ ЭХОЛОТОМ
№ 3 (33)	<i>Н. П. Похиленко.</i> АЛМАЗНЫЕ РОССЫПИ ДЛЯ РОССИИ
№ 3 (33)	<i>В. А. Конторович.</i> НЕФТЕГАЗОВЫЙ РЕЗЕРВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
№ 3 (33)	<i>В. С. Селезнев.</i> СИМФОНИЯ КАТАСТРОФ
№ 4 (34)	<i>А. П. Смелов, А. А. Сурнин.</i> ЗОЛОТО ГОРОДА ЯКУТСКА
№ 4 (34)	<i>В. В. Зуев.</i> ВУЛКАНЫ И ОЗООНОВЫЙ СЛОЙ
№ 5 (35)	<i>В. С. Антипин, В. И. Воронин.</i> ПАТОМСКИЙ КРАТЕР – ЗЕМНОЙ ИЛИ НЕБЕСНЫЙ?
№ 5 (35)	<i>Е. П. Бессонова, Г. Л. Панин.</i> ГОРЯЧАЯ КРОВЬ ЗЕМЛИ. <i>Неинвазивная диагностика вулкана</i>
№ 5 (35)	<i>Э. В. Сокол, С. Н. Кох.</i> В ОТБЛЕСКАХ «ВЕЧНЫХ ОГНЕЙ»
№ 5 (35)	<i>В. И. Пеньковский, Н. К. Корсакова.</i> ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КАРОТАЖ: НЕТ ХУДА БЕЗ ДОБРА
№ 6 (36)	<i>В. И. Осипов.</i> ЧТО ТАКОЕ КАТАСТРОФЫ И КАК С НИМИ БОРОТЬСЯ
№ 6 (36)	<i>Н. Л. Добрецов.</i> КЛИМАТ ВО ВРЕМЕНИ И В ПРОСТРАНСТВЕ

2011	
№ 4 (40)	<i>Л. И. Морозова.</i> ОБЛАКА – ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
№ 4 (40)	<i>Я. В. Кузьмин, А. В. Гребенников, В. К. Попов.</i> ГЕОЛОГИЯ И АРХЕОЛОГИЯ ОБСИДИАНА
№ 6 (42)	<i>М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолюк.</i> ГЛУБИННАЯ ГЕОДИНАМИКА, ИЛИ КАК РАБОТАЕТ МАНТИЯ ЗЕМЛИ
№ 6 (42)	<i>Н. Л. Добрецов, А. С. Борисенко, А. Э. Изох.</i> ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ ГЛУБИННЫЕ МАНТИЙНЫЕ ПЛЮМЫ – ИСТОЧНИК РУДНОГО БОГАТСТВА ПЛАНЕТЫ
2012	
№ 1 (43)	<i>Г. А. Пальянова, Н. Е. Савва.</i> НЕ ВСЕ ЗОЛОТО БЛЕСТИТ
№ 2 (44)	<i>Г. Г. Боевскоров, Е. Н. Машенко, И. Н. Белолобский, М. Д. Томшин.</i> ГОСТИ ИЗ ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА
№ 2 (44)	<i>В. С. Шкодзинский.</i> РЕЦЕПТЫ СОТВОРЕНИЯ МИРА. Геологические данные как основа для выяснения происхождения Земли
№ 2 (44)	<i>Н. Л. Добрецов.</i> ПО СТУПЕНЯМ ЭВОЛЮЦИИ. Эволюция Земли, ландшафтной оболочки, климата и биосферы
№ 2 (44)	<i>Н. В. Владыкин.</i> МИНЕРАЛЫ ЗЕМНЫЕ И НЕБЕСНЫЕ
№ 2 (44)	<i>Г. А. Пальянова, Н. Е. Савва.</i> НЕ ВСЕ ЗОЛОТО БЛЕСТИТ
№ 4 (46)	<i>Ю. Б. Бернштейн.</i> ПРОЕКЦИИ В КАРТОГРАФИИ
№ 6 (48)	<i>В. П. Афанасьев.</i> ОКАТАННЫЕ ВРЕМЕНЕМ... О происхождении алмазов Сибирской платформы
№ 6 (48)	<i>Е. И. Николенко.</i> В ПОИСКАХ ТРИАСА. Фоторепортаж
№ 6 (48)	<i>Э. Н. Эрлих.</i> ДОРОГА К ТОМТОРУ
№ 6 (48)	<i>Э. Н. Эрлих.</i> ОТКРЫТИЕ ЗАРНИЦЫ – НАЧАЛО СИБИРСКИХ АЛМАЗОВ
№ 6 (48)	<i>А. В. Толстов.</i> ТОМТОР – КЛАДОВАЯ «РЕДКОСТЕЙ»
НАУКИ О ЖИЗНИ	
2004	
№ 0	<i>А. С. Исаев.</i> В РОССИИ ПОЯВИЛАСЬ ЦИФРОВАЯ КАРТА ЛЕСОВ!
№ 1	<i>Е. В. Лихошвай, Р. М. Кроуфорд.</i> НЕВИДИМАЯ СЕТЬ. Преемственность прошлого и настоящего на примере диатомовых водорослей
№ 1	СОЗДАВАЯ ЖИВУЮ КАРТИНУ
№ 1	<i>О. А. Тимошкин.</i> «ПРЕСНОВОДНАЯ АВСТРАЛИЯ» СИБИРИ
№ 1	<i>Н. А. Бондаренко, Л. А. Оболкина, О. А. Тимошкин.</i> ЛЕД – ХРАНИТЕЛЬ ЖИЗНИ
№ 1	<i>Т. Я. Ситникова, П. Репсторф.</i> ЭТИ МОЛЛЮСКИ ЖИВУТ ТОЛЬКО В БАЙКАЛЕ
№ 2 (3)	<i>Е. В. Дейнеко.</i> ЛЕГКО ЛИ БЫТЬ СОЗДАТЕЛЕМ? Реалии трансгенеза растений
№ 2 (3)	<i>Л. Е. Овчинникова.</i> МОРКОВКА ВМЕСТО КАПЕЛЬНИЦЫ
№ 2 (3)	<i>С. Н. Щелкунов, Р. К. Салаяв.</i> ВАКЦИНЫ ЗАВТРАШНЕГО ДНЯ
№ 2 (3)	<i>Д. Б. Дорохов.</i> БИОБЕЗОПАСНОСТЬ: ВЗГЛЯД ПРОФЕССИОНАЛА
№ 2 (3)	<i>Л. В. Суханова.</i> БАЙКАЛ – ОМУЛЕВАЯ БОЧКА
№ 2 (3)	<i>Н. Г. Мельник.</i> РАКООБРАЗНЫЕ БАЙКАЛЬСКИХ ВОД
№ 2 (3)	<i>В. К. Шумный.</i> ПРИРОДА БЫЛА ПЕРВЫМ ГЕННЫМ ИНЖЕНЕРОМ
№ 2 (3)	<i>В. Г. Сиделева.</i> ДЛИННОКРЫЛКА, ЖЕЛТОКРЫЛКА, ШИРОКОЛОБКА И ДРУГИЕ... РЫБЫ БАЙКАЛА
2005	
№ 2 (5)	<i>М. П. Мошкин, Л. А. Герлинская, Р. Нагатоми.</i> ЗАПАХ, КОТОРЫЙ НЕ ЛЖЕТ

№ 3 (6)	<i>Х. Х. Шредер, С. И. Беликов, В. Мюллер.</i> БИОГЕННЫЙ КРЕМНЕЗЕМ – МАТЕРИАЛ НОВОГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ
№ 3 (6)	<i>М. П. Мошкин.</i> ЗАМОРСКАЯ ЕЖОВАЯ...
2006	
№ 1 (7)	<i>Ю. М. Яковлев.</i> О ЕЖАХ – ЗЕЛЕННЫХ И ЧЕРНЫХ, КРУГЛЫХ И ПЛОСКИХ, СЪЕДОБНЫХ И ЯДОВИТЫХ
№ 2 (8)	<i>Н. М. Бажан.</i> БЕРЕМЕННОСТЬ КАК СРЕДСТВО БОРЬБЫ С ОЖИРЕНИЕМ
№ 3 (9)	ЧЕЛОВЕК И СЕВЕР
№ 3 (9)	<i>А. М. Шестопалов.</i> СТАРЫЙ ЗНАКОМЫЙ – ПТИЧИЙ ГРИПП
№ 3 (9)	<i>А. К. Юрлов.</i> ЛЕТАТ ПЕРЕЛЕТНЫЕ...
№ 3 (9)	<i>А. П. Яновский.</i> НА КРЫЛЬЯХ ЛЮБВИ
№ 3 (9)	<i>В. В. Власов.</i> ПЕСНЯ ТАЕЖНЫХ АБОРИГЕНОВ
№ 4 (10)	ДИАТОМЕИ: СТРОИТЕЛИ СТЕКЛЯННЫХ ЗАМКОВ По материалам 19-го Международного диатомового симпозиума
№ 4 (10)	<i>Э. И. Лосева, Р. Кроуфорд, М. Полен, Н. Б. Балашова.</i> ШЕСТЬ КОНТИНЕНТОВ ВЕЧНОЙ ЖИЗНИ
№ 4 (10)	<i>Э. И. Лосева, Л. Медлин, Р. Кроуфорд.</i> ДИАТОМЕИ И ЧЕЛОВЕК
№ 4 (10)	АСЕТАБУЛАРИА
№ 4 (10)	<i>В. А. Иванисенко, Н. А. Колчанов.</i> ИОННЫЙ ЦИТ ВИРУСА ГРИППА
№ 4 (10)	<i>В. В. Власов.</i> ЧТО ДЕЛАТЬ? Россия перед возможной пандемией
№ 4 (10)	НОВАЯ ВАКЦИНА: ПОБЕДА ФОРМЫ НАД СОДЕРЖАНИЕМ
№ 4 (10)	<i>Л. Медлин, П. Симс, Р. Кроуфорд, Н. И. Стрельникова, Р. Ян, В.-Х. Кузбер, Д. Вильямс.</i> «...ПОЧТИ БЕССМЕРТНЫ И ВСЕГДА МОЛОДЫ»
№ 5 (11)	<i>С. Е. Ткачев.</i> ПОД ПРИЦЕЛОМ У ЭНЦЕФАЛИТА
№ 5 (11)	<i>Н. Н. Ливанова.</i> ВОСЬМИНОГИЕ ВАМПИРЫ
№ 5 (11)	<i>В. Я. Фет.</i> СТРАНСТВИЯ ПОД СОЗВЕЗДИЕМ СКОРПИОНА
№ 6 (12)	<i>Д. О. Жарков.</i> ЗАГАДКИ «РЖАВОЙ» ДНК
№ 6 (12)	<i>Г. Г. Карпова, Д. М. Грайфер, А. А. Малыгин.</i> РИБОСОМА — МИНИФАБРИКА ПО ПРОИЗВОДСТВУ БЕЛКОВ
№ 6 (12)	<i>Г. А. Невинский.</i> ТАИНСТВЕННЫЕ АБЗИМЫ
2007	
№ 1 (13)	<i>А. К. Сытин, Л. Я. Боркин.</i> «БЛАЖЕНСТВО ВИДЕТЬ ПРИРОДУ В САМОМ ЕЕ БЫТИИ...»
№ 1 (13)	<i>Л. П. Захаренко.</i> ПРЫГАЮЩИЕ ГЕНЫ
№ 1 (13)	<i>В. Я. Кузванов.</i> ХРАНИТЕ ЗЕЛЕНЕЕ ДЕРЕВО В СВОЕМ СЕРДЦЕ...
№ 2 (14)	ВАКЦИНАЦИЯ ЗАПАХОМ
№ 2 (14)	<i>В. В. Власов.</i> ЛЕКАРСТВО ДЛЯ ГЕНОВ
№ 2 (14)	<i>М. Фукуда, А. В. Брушков.</i> МЫ ЖИВЕМ НА ХОЛОДНОЙ ПЛАНЕТЕ
№ 3 (15)	<i>Е. А. Новиков, Д. В. Петровский, М. П. Мошкин.</i> НЕСПЯЩИЕ ПОД ЗЕМЛЕЙ
№ 3 (15)	<i>М. П. Мошкин, В. Н. Бахвалова, Е. А. Новиков.</i> КОМУ НУЖЕН ПРОГНОЗ ПО КЛЕЩЕВОМУ ЭНЦЕФАЛИТУ? Итоги 27-летнего мониторинга природного эпидемиологического очага
№ 3 (15)	<i>Н. В. Фоменко.</i> КЛЕЩЕВОЙ БОРРЕЛИОЗ: БОЛЕЗНЬ НА ВСЮ ЖИЗНЬ?
№ 3 (15)	<i>Г. И. Лифшиц.</i> ТИХИЙ УБИЙЦА АТЕРОСКЛЕРОЗ. От теории – к практике
№ 3 (15)	<i>С. Н. Ходырева, О. И. Лаврик.</i> КАК КЛЕТКА РЕМОНТИРУЕТ ДНК
№ 4 (16)	<i>В. Ю. Крюков, О. Н. Ярославцева.</i> ЦЕЛЕБНАЯ «ТРАВА, ПОЕДАЮЩАЯ ГУСЕНИЦУ»
№ 4 (16)	<i>В. Н. Анисимов.</i> КАМЕРТОН СТАРЕНИЯ

№ 4 (16)	<i>В. С. Прасолов.</i> ХРУПКИЙ МИР ЗУБРОВ
№ 5 (17)	<i>А. Н. Синяков.</i> БИОЧИПЫ: ДИАГНОЗ – ДЕЛО ТЕХНИКИ!
№ 5 (17)	ЭТЮДЫ О РАСТЕНИЯХ. Обзор по материалам статей <i>Г. А. Толстикова, А. Г. Толстикова, Т. Г. Толстикова</i>
2008	
№ 1 (19)	<i>Е. Л. Черноловская.</i> РНК-ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ: КЛИН КЛИНОМ...
№ 1 (19)	<i>В. Н. Сильников.</i> КОНСТРУИРУЕМ РИБОНУКЛЕАЗЫ – НОЖНИЦЫ-ФЕРМЕНТЫ
№ 2 (20)	<i>Н. А. Колчанов, В. А. Мордвинов.</i> ПАРАЗИТОЗ ОТ А ДО Т
№ 2 (20)	<i>А. И. Пальцев.</i> СИСТЕМНОМУ ЗАБОЛЕВАНИЮ – СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД
№ 2 (20)	<i>Н. И. Юрлова.</i> «ОБСКАЯ БОЛЕЗНЬ»
№ 2 (20)	<i>С. В. Нетесов.</i> ПТИЧИЙ ГРИПП: ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ...
№ 3 (21)	<i>В. В. Глунов, И. А. Слепнева.</i> ОБОРОНУ ДЕРЖАТ НАСЕКОМЫЕ
№ 3 (21)	«ШЕСТИНОГАЯ» ПЛАНЕТА. Фоторепортаж <i>В. Глулова</i>
№ 3 (21)	<i>И. В. Стебаев.</i> КУЗНЕЧИК ДОРОГОЙ... Эволюционно-экологические очерки
№ 3 (21)	<i>Т. Г. Толстикова, А. Г. Толстикова.</i> СЛАДОСТЬ СКИФСКОГО КОРНЯ
№ 3 (21)	<i>В. И. Харук, С. Т. Им.</i> ВСЛЕД ЗА ЛЕСОМ В ГОРЫ ТАННУ-ОЛА
№ 4 (22)	<i>Д. Т. Бернс, М. П. Мошкин.</i> DROSOPHILA ИГНОРИРУЕТ СОЛНЕЧНОЕ ЗАТМЕНИЕ
№ 4 (22)	<i>М. П. Мошкин.</i> ПОСТГЕНОМНАЯ ЭРА, или Зачем нужны 300 тысяч линий мышей
№ 4 (22)	<i>Ю. Тауц.</i> ЧТО ПЧЕЛЫ ЗНАЮТ О ЦВЕТАХ
№ 4 (22)	<i>Ж. И. Резникова.</i> ЯЗЫК МУРАВЬЕВ ДО ОТКРЫТИЯ ДОВЕДЕТ
№ 4 (22)	<i>Е. В. Киселева.</i> ВОЛШЕБНЫЕ КАРТИНЫ МИКРОКОСМА
№ 5 (23)	БИОЛОГИ НА НОБЕЛЕВСКОМ ОЛИМПЕ
№ 5 (23)	<i>Я. В. Новикова.</i> НОВАЯ ЭРА ХИРУРГИИ
№ 5 (23)	<i>Д. В. Пышный, А. Г. Веняминова, А. Н. Синяков, М. А. Зенкова, В. В. Власов.</i> НУКЛЕИНОВЫЙ КОНСТРУКТОР
№ 6 (24)	НАУКА ЖЕНСКОГО РОДА. Подводные чудеса <i>Оксаны Калюжной</i>
№ 6 (24)	<i>А. И. Шевела, Я. В. Новикова, В. В. Власов.</i> ВРЕМЯ БЕСКРОВНОЙ ХИРУРГИИ
№ 6 (24)	<i>А. А. Махотин, А. В. Макогон.</i> К «ЗВЕЗДНЫМ ВРАТАМ». От зачатия до рождения
2009	
№ 1 (25)	<i>К. С. Севостьянова, В. В. Анищенко, В. Г. Куликов.</i> ТЯЖЕЛАЯ НОША. Ожирение как медицинская проблема
№ 2 (26)	<i>Н. В. Кох, М. Л. Филипенко.</i> ГЕНОДИАГНОСТИКА ДЛЯ БУДУЩИХ МАМ
№ 3 (27)	<i>С. В. Нетесов.</i> СВИНОЙ ГРИПП В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ
№ 3 (27)	<i>В. Б. Локтев.</i> ВИРУС ЗАПАДНОГО НИЛА: КРУГОСВЕТКА
№ 3 (27)	<i>И. В. Морозов.</i> КАК «ЧИТАЮТ» ГЕНЫ
№ 3 (27)	<i>Ю. Я. Латыпов.</i> ПОДНОГОТНАЯ КОРАЛЛОВОГО РИФА
№ 4 (28)	<i>П. М. Бородин.</i> КОШКИ И ГЕНЫ: 30 ЛЕТ СПУСТЯ
№ 4 (28)	<i>Д. О. Жарков.</i> ЧАСОВЫЕ ГЕНОМА
№ 5 (29)	ПАТЕНТ НА ЧЕТВЕРТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ
№ 5 (29)	<i>А. Д. Фирсова.</i> МИРОВЫЕ ПОГРУЖЕНИЯ. Заметки со дна Байкала
№ 5 (29)	<i>Е. И. Рябчикова.</i> ВИРУС ГРИППА: ПОДРОБНОСТИ ЛИЧНОЙ ЖИЗНИ
№ 5 (29)	<i>В. В. Власов, В. С. Прасолов.</i> САМЫЙ РУССКИЙ ЗВЕРЬ

№ 6 (30)	ЭСТАФЕТА ЖИЗНИ. Об этических и организационных проблемах трансплантологии в России
№ 6 (30)	<i>В. И. Харук, К. Дж. Рэнсон.</i> ТАЙГА ПОД ПРИСМОТРОМ ЛИДАРА
№ 6 (30)	<i>В. П. Седелников, А. Ю. Королюк, Н. Н. Лащинский.</i> ЗАТЕРЯННЫЙ АРХИПЕЛАГ. Алтайский край глазами ботаника
2010	
№ 1 (31)	<i>Е. И. Шишацкая.</i> БИОПЛАСТОН: СОВМЕСТИМ С ЖИЗНЬЮ
№ 1 (31)	<i>В. В. Глунов, Ю. Н. Литвинов.</i> ПРИРОДНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ
№ 2 (32)	<i>М. П. Мошкин.</i> СИБИРСКИЙ ЦЕНТР ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
№ 2 (32)	<i>П. П. Лактионов, Д. В. Пышный.</i> «КЛЕТКА» ДЛЯ КЛЕТОК
№ 2 (32)	<i>М. А. Зенкова.</i> НУКЛЕАЗЫ ПРОТИВ МЕТАСТАЗОВ
№ 2 (32)	<i>А. Н. Синяков.</i> ВИРУС ГРИППА: ВРАГА ЗНАТЬ В ЛИЦО
№ 2 (32)	<i>Т. Г. Волова.</i> «ВОДОРОДНЫЕ» БИОТЕХНОЛОГИИ
№ 2 (32)	<i>Т. Г. Толстикова.</i> ФЛОРА СИБИРИ – ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ФАРМАЦЕВТИКИ
№ 2 (32)	<i>Т. И. Земская.</i> «ЗАТЕРЯННЫЙ МИР» БАЙКАЛЬСКОГО ДНА
№ 2 (32)	<i>Л. А. Першина, Л. И. Лайкова.</i> О ХЛЕБЕ НАСУЩНОМ
№ 2 (32)	<i>В. И. Молодин, А. С. Пилипенко.</i> ДРЕВНЯЯ ДНК И СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ – НОВЫЕ ОТВЕТЫ НА СТАРЫЕ ВОПРОСЫ
№ 2 (32)	<i>О. С. Федорова, В. В. Коваль.</i> ПРОТЕОМИКА – ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНАЯ «РЫБАЛКА»
№ 2 (32)	<i>А. А. Черноосов.</i> КРАСНОРЕЧИВЫЕ МЕТАБОЛИТЫ
№ 2 (32)	<i>И. В. Алексеева.</i> ОТ САМОГО РОЖДЕНИЯ
№ 2 (32)	<i>Г. И. Лифшиц, Я. В. Новикова.</i> ТЕРАПИЯ – ПЕРСОНАЛЬНАЯ ДОЗА
№ 3 (33)	<i>И. И. Ипполитов.</i> А НА ЧУКОТКЕ ХОЛОДАЕТ
№ 3 (33)	<i>Б. Д. Белан, М. Ю. Аршинов.</i> ПОД ПАРНИКОВОЙ КРЫШЕЙ
№ 3 (33)	<i>Т. В. Теплякова.</i> В ТРЕТЬЕМ ЦАРСТВЕ, ГРИБНОМ ГОСУДАРСТВЕ
№ 3 (33)	<i>М. Г. Сергеев.</i> САРАНЧА – ДРУГ ИЛИ ВРАГ?
№ 4 (34)	<i>В. И. Харук, М. Л. Двинская, С. Т. Им.</i> НЕТ ЛЕСА БЕЗ ОГНЯ. Таежные пожары как природный фактор
№ 4 (34)	<i>Т. В. Теплякова.</i> ГРИБНАЯ ЛИЛИПУТИЯ – ОТ ПАРАЗИТОВ ДО ХИЩНИКОВ
№ 4 (34)	<i>Ю. Н. Литвинов, Н. В. Лопатина.</i> МУМИЕ ОТ СКАЛЬНОЙ ПОЛЕВКИ
№ 5 (35)	<i>В. В. Мартынянов, С. А. Бахвалов, А. В. Ильиных.</i> ОРУЖИЕ МАССОВОГО ГУСЕНИЧНОГО ПОРАЖЕНИЯ
№ 6 (36)	<i>С. Н. Тамкович.</i> САМЫЙ РАННИЙ ДИАГНОЗ
№ 6 (36)	<i>О. Н. Павлова.</i> НЕВИДИМЫЕ ЗАЩИТНИКИ БАЙКАЛА
№ 6 (36)	<i>Е. Г. Сорокичкова.</i> СИНЕ-ЗЕЛЕНАЯ УГРОЗА
№ 6 (36)	<i>Е. А. Коваленко.</i> КУКУРБИТУРИЛ – МОЛЕКУЛА-ТЫКВА
№ 6 (36)	<i>В. И. Мосолов.</i> КАМЧАТКА ЗАПОВЕДНАЯ. Фоторепортаж <i>И. Шпиленка</i>
2011	
№ 1 (37)	<i>Е. В. Дмитриенко, Р. Д. Булушев, И. А. Пышная, Д. В. Пышный.</i> «СЛЕПКИ» ЖИЗНИ – ПОЛИМЕРЫ С МОЛЕКУЛЯРНОЙ ПАМЯТЬЮ
№ 1 (37)	<i>А. Э. Гильберт.</i> ПОД ЗНАКОМ КОЗЕРОГА
№ 2 (38)	<i>Н. А. Колчанов, М. П. Мошкин, Р. З. Сагдеев, В. К. Шумный.</i> СИБИРСКИЙ ЦЕНТР ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ – ТРИ ГОДА СПУСТЯ
№ 2 (38)	<i>А. В. Коптюг, Е. В. Мамонтов, Ю. Г. Суховай.</i> НА ПУТИ К ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЕ
№ 3 (39)	<i>В. Я. Кузванов.</i> АНАНАСЫ ПОД СОСНАМИ. «Ботанический сад» купцов Басниных
№ 3 (39)	<i>А. Н. Формозов.</i> АМУРСКАЯ ЗООЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ АКАДЕМИИ НАУК С.С.С.Р. (1928 г.)

№ 3 (39)	<i>Б. Л. Щербов.</i> ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ КАК ГЕОХИМИЧЕСКАЯ УГРОЗА
№ 3 (39)	<i>Е. А. Интересова, В. В. Сиротин.</i> ГДЕ ТЫ, ЦАРЬ-РЫБА?
№ 4 (40)	<i>Е. И. Рябчикова, И. А. Пышная, Ю. Е. Спицына.</i> ПОЗОЛОТИТЬ КЛЕТКУ
№ 4 (40)	<i>В. А. Шило, С. Н. Климова.</i> «НОЕВ КОВЧЕГ» ДЛЯ ДИКУШИ
№ 5 (41)	<i>А. Е. Бормотов.</i> ЧТО СЛУЧИЛОСЬ С БАЙКАЛЬСКИМИ ГУБКАМИ?
№ 5 (41)	БАЙКАЛЬСКИЙ МУЗЕЙ: ЭФФЕКТ ПРИСУТСТВИЯ
№ 5 (41)	<i>А. Нарчук.</i> ЛЮБОВЬ С ПЕРВОГО ПОГРУЖЕНИЯ
№ 6 (42)	<i>Б. М. Кершенгольц, П. А. Ремигайло, Е. С. Хлебный.</i> БАНК СЕМЯН В ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ
№ 6 (42)	<i>Е. В. Бреннер, А. М. Курильщикова, Н. В. Фоменко.</i> РАСШИФРОВКА ГЕНОМА БОРРЕЛИИ – ВОЗБУДИТЕЛЯ БОЛЕЗНИ ЛАЙМА
№ 6 (42)	<i>А. В. Коптюг, Е. В. Мамонтов, Ю. Г. Суховей.</i> НА ПУТИ К ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЕ. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ОПУХОЛИ
№ 6 (42)	<i>А. Н. Глушков.</i> АНТИТЕЛА ПРОТИВ КАНЦЕРОГЕНОВ
2012	
№1 (43)	<i>Н. В. Тикунова, Е. В. Жираковская.</i> ВИРУСЫ – ВОЗБУДИТЕЛИ КИШЕЧНЫХ ИНФЕКЦИЙ
№ 1 (43)	<i>Д. О. Жарков.</i> КЛЕТКА: ИЗ ЗРЕЛОСТИ – В ДЕТСТВО
№ 1 (43)	<i>Е. В. Бреннер.</i> ТЕМНОВОЙ ГЕНОМ
№ 1 (43)	<i>Д. О. Жарков, М. П. Мошкин.</i> ЧЕЛОВЕК КАК СРЕДА ОБИТАНИЯ
№1 (43)	<i>В. Н. Анисимов.</i> МОЖНО ЛИ ОТМЕНИТЬ СТАРЕНИЕ?
№ 1 (43)	<i>М. В. Шуньков.</i> РОДОСЛОВНОЕ ДРЕВО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА РАЗРОСЛОСЬ
№ 1 (43)	<i>А. С. Пилипенко.</i> ДРЕВНЯЯ ДНК «ЗАГОВОРИЛА»
№ 1 (43)	<i>С. В. Нетесов.</i> ПРЕРВАТЬ ЦЕПЬ ВИЧ
№ 1 (43)	<i>Д. О. Жарков.</i> ДЕСЯТЬ КРУПНЕЙШИХ ДОСТИЖЕНИЙ ДЕСЯТИЛЕТИЯ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ. <i>Версия независимого эксперта</i>
№ 1 (43)	<i>Н. А. Кузнецов, О. С. Федорова.</i> В ГЛАВНОЙ РОЛИ – ФЕРМЕНТ
№ 1 (43)	<i>С. А. Дзюба, Ю. Д. Цветков.</i> «МОЛЕКУЛЯРНОЕ СВЕРЛО» АНТИБИОТИКА
№ 2 (44)	<i>М. Бэкстрем, Л.-Э. Реннар, А. В. Коптюг.</i> ЗАПЧАСТИ ДЛЯ СКЕЛЕТА
№ 2 (44)	<i>Г. И. Лифшиц, М. Л. Филипенко, А. И. Шевела.</i> ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННАЯ МЕДИЦИНА. <i>Лечить не болезнь, а больного</i>
№ 2 (44)	<i>Р. Ю. Дудко, И. И. Любечанский, В. В. Дубатовов, Ю. Н. Марусик.</i> СИБИРСКИЙ САД КАМНЕЙ
№ 3 (45)	<i>В. В. Власов, П. Е. Воробьев.</i> МИР РНК: ВЧЕРА И СЕГОДНЯ
№ 3 (45)	<i>Е. Ю. Рыкова, И. А. Запорожченко, П. П. Лактионов.</i> НУКЛЕИНОВЫЕ СТРАННИКИ
№ 3 (45)	<i>В. С. Комлев, А. Ю. Федотов, Н. В. Петракова.</i> МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИНЖЕНЕРИИ КОСТНОЙ ТКАНИ
№ 3 (45)	<i>А. А. Огиенко, Э. М. Баричева, С. И. Байбородин.</i> АРХИТЕКТУРА КЛЕТОЧНОГО СКЕЛЕТА
№ 3 (45)	<i>П. А. Тюрин-Кузьмин.</i> КАК «ГУЛЯЮТ» ФИБРОБЛАСТЫ
№ 4 (46)	<i>А. В. Душкин, Т. Г. Толстикова.</i> НОВОЕ «ЛИЦО» ЗНАКОМЫХ ЛЕКАРСТВ
№ 4 (46)	<i>В. В. Фоменко, С. С. Лаев.</i> КАК ПОБЕДИТЬ АТЕРОСКЛЕРОЗ
№ 4 (46)	<i>М. И. Гладышев.</i> ЖИРЫ – ДЛЯ УМА И СЕРДЦА
№ 4 (46)	<i>А. Боско, М. Веттер.</i> ГЛАУКОМ: ВСЕ НАЧИНАЕТСЯ С СОСЕДЕЙ?
№ 4 (46)	<i>Ф. Гилак, Ф. Мутос.</i> КАК СОТКАТЬ ХРЯЩЕВУЮ ТКАНЬ

№ 4 (46)	<i>Д. Б. Кауэн, Д. Канкел.</i> БИОРЕАКТОР ДЛЯ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК
№ 5 (47)	<i>М. И. Душкин.</i> МАКРОФАГ – МНОГОЛИКИЙ И ВЕЗДЕСУЩИЙ
№ 5 (47)	<i>Т. В. Теплякова.</i> ГРИБЫ ВЫХОДЯТ НА ОХОТУ
№ 5 (47)	<i>А. Н. Гилев, К. А. Каренина.</i> В СТРАНЕ ДИКИХ КЕНГУРУ
№ 5 (47)	<i>А. В. Гуров.</i> ЧЕРНЫЙ КОРШУН, ЧТО ТЫ ВЬЕШЬСЯ?..
№ 5 (47)	<i>М. Арнегард, Д. Цвикл, Й. Лу, Х. Закон.</i> ШЕСТОЕ ЧУВСТВО – ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ
№ 6 (48)	<i>Д. О. Жарков.</i> В ПОМОЩЬ СТРУКТУРНОМУ БИОЛОГУ
№ 6 (48)	<i>Д. О. Жарков.</i> ГЕНОМНЫЕ СНАЙПЕРЫ
№ 6 (48)	<i>Д. О. Жарков.</i> ДРЕВНЯЯ ДНК: ОТ НЕАНДЕРТАЛЬЦА ДО КОЛБАСЫ
№ 6 (48)	<i>А. Я. Каплан.</i> НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЙ СИМБИОЗ: ДВИЖЕНИЕ СИЛОЙ МЫСЛИ
№ 6 (48)	<i>С. Н. Щелкунов.</i> ОСПА – ДАМОКЛОВ МЕЧ ЦИВИЛИЗАЦИЙ
№6 (48)	<i>Н. В. Полосьмак, Е. А. Королюк.</i> И ДУША ВОЗРОДИТСЯ, КАК ЗЕРНА ПРОСА
№ 6 (48)	<i>Д. Дин, Д. Дежарден, М. Халси, К. Харфманн.</i> ВНУТРИ ИГЛЫ ДИКОБРАЗА
ГУМАНИТАРНЫЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ	
2004	
№ 0	<i>В. И. Молодин.</i> СТРАНСТВУЮЩИЙ РЫЦАРЬ
№ 0	<i>И. Г. Гмелин.</i> ПУТЕШЕСТВИЕ ПО СИБИРИ. <i>Перевод и публикация А. Х. Элерта</i>
№ 0	<i>А. М. Панфилов.</i> НЕВОЗВРАЩЕНЕЦ. ИСТОРИЯ ОДНОГО ПОБЕГА
№ 2 (3)	<i>Г. В. Стеллер.</i> ОПИСАНИЕ ГОРОДА ИРКУЦКА И ОКРЕСТНЫХ МЕСТНОСТЕЙ. <i>Перевод и публикация А. Х. Элерта</i>
№ 2 (3)	<i>А. М. Панфилов.</i> ИДУЩИЙ ЗА ГОРИЗОНТ, ИЛИ МОЛИТВА О ПРЕОДОЛЕНИИ. <i>Жизнь и судьба Георга Вильгельма Стеллера</i>
№ 2 (3)	<i>К. Л. Банников, Е. А. Кузнецова.</i> В БЕСКОНЕЧНОСТИ НЕВОПЛОЩЕННЫХ СМЫСЛОВ: МЫСЛИ О ТОФАЛАРСКОЙ ГЛИНЕ
№ 2 (3)	<i>В. Хинтше.</i> ВТОРАЯ КАМЧАТСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ – НАУЧНЫЙ ПОДВИГ XVIII СТОЛЕТИЯ
2005	
№ 1 (4)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> ПУРПУР И ЗОЛОТО ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ
№ 1 (4)	<i>М. В. Шуньков.</i> ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ АНУЯ
№ 1 (4)	<i>В. Н. Зенин.</i> ОХОТНИКИ ЗА МАМОНТАМИ
№ 1 (4)	<i>А. И. Соловьев.</i> СВЯЩЕННЫЕ ЛИКИ БОЛЬШОГО ЛЕСА
№ 1 (4)	<i>К. А. Сагалаев.</i> МЕДВЕЖИЙ ПРАЗДНИК
№ 1 (4)	<i>В. Е. Медведев.</i> ВОСХОД ЗОЛОТОЙ ИМПЕРИИ ЧЖУРЧЖЭНЕЙ
№ 1 (4)	<i>И. В. Октябрьская, А. В. Шаповалов.</i> ШАМАНЫ ТУВЫ: ТАНЦЮЩИЕ С ДУХАМИ. <i>Фоторепортаж В. Дубровского</i>
№ 1 (4)	<i>В. И. Молодин.</i> МЕЧ КАРОЛИНГОВ
№ 1 (4)	<i>А. Х. Элерт.</i> ОПИСАНИЕ СИБИРСКИХ НАРОДОВ ГЕРАРДА ФРИДРИХА МИЛЛЕРА
№ 1 (4)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> РЫЦАРИ ТАЙГИ. <i>Перевод и публикация А. Х. Элерта</i>
№ 1 (4)	<i>А. М. Панфилов.</i> «ОХОТА МОЯ К УСЛУЖЕНИЮ ОБЩЕСТВУ...». <i>Герард Фридрих Миллер – человек и ученый</i>
№ 2 (5)	<i>В. Е. Медведев.</i> НЕКРОПОЛЬ «НЕПОКОРНЫХ». <i>Большой Уссурийский остров археологических сокровищ</i>
№ 2 (5)	ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПРЕМИЯ – СИБИРСКИМ АРХЕОЛОГАМ

№ 2 (5)	<i>А. Х. Элерт.</i> ОПИСАНИЕ СИБИРСКИХ НАРОДОВ ГЕРАРДА ФРИДРИХА МИЛЛЕРА (продолжение)
№ 2 (5)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> ПРОБЛЕМЫ БРАКА И СЕМЬИ У КОРЕННЫХ НАРОДОВ СИБИРИ. <i>Перевод и публикация А. Х. Элерта</i>
№ 3 (6)	ПАЛЕОЛИТИЧЕСКОЕ ДЕТСТВО АЛТАЯ
№ 3 (6)	«МИНИ»-АРТЕФАКТЫ. <i>Археологическая сенсация из Дагестана</i>
№ 3 (6)	В ПОПУТЧИКАХ У ГЕРАРДА ФРИДРИХА МИЛЛЕРА. <i>Фоторепортаж</i>
№ 3 (6)	<i>А. А. Саввин.</i> ЙОГУРТ ПО-ЯКУТСКИ
№ 3 (6)	<i>М. Ф. Косарев.</i> В ПОИСКАХ ВЕЛИКОЙ ВЕНГРИИ
2006	
№ 1 (7)	<i>В. И. Молодин.</i> ИЛИМСКОЕ РАСПЯТИЕ
№ 1 (7)	<i>Н. В. Полосьмак, В. А. Трунова.</i> СМЕРТЕЛЬНОЕ НАСЛАЖДЕНИЕ: СИ ОБНАРУЖИВАЕТ УБИЙЦУ
№ 1 (7)	<i>А. А. Иконников-Галицкий.</i> ЧОРЕМЕ, ХАН И АРАКА В ТУВИНСКОЙ ЮРТЕ
№ 2 (8)	<i>В. Е. Ларичев, А. П. Бородовский.</i> ДРЕВНИЕ КЛАДЫ ЮЖНОЙ СИБИРИ
№ 2 (8)	<i>М. И. Гардамшина, Н. А. Чеботаева, Е. В. Калитенко, Г. П. Саврасова.</i> СОСЕДИ. ЛЕСНЫЕ НЕНЦЫ
№ 4 (10)	<i>Е. С. Гвоздева, Т. А. Штерцер.</i> БЫТЬ УМНЫМ, ЧТОБЫ БЫТЬ БОГАТЫМ
№ 4 (10)	<i>М. И. Гардамшина, Н. А. Чеботаева, Е. В. Калитенко, Г. П. Саврасова.</i> СОСЕДИ. ЛЕСНЫЕ НЕНЦЫ. ТРАДИЦИОННАЯ МЕДИЦИНА (продолжение)
№ 5 (11)	<i>А. Г. Абайдулова, Н. А. Петрова.</i> ПЕРВЫЙ ПОСЛЕ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ. ВСЕРОССИЙСКИЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКИЙ СЪЕЗД (Новгород, 1911 – Новосибирск, 2006)
№ 5 (11)	<i>О. В. Яншина.</i> ХРАНИТЬ ВЕЧНО. <i>Первая публикация из архива академика А. П. Окладникова</i>
№ 5 (11)	<i>И. В. Тункина.</i> В ПОИСКАХ СОКРОВИЩ БОГАТЫРЯ ХАРА-ЦЗЯНЬ-ЦЗЮНЬ. <i>Неизданные труды С. И. Руденко</i>
№ 5 (11)	<i>И. Л. Тихонов.</i> АРХЕОЛОГИЯ И АРХИВЫ
№ 5 (11)	<i>М. В. Шуньков.</i> ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ АЛТАЙСКИХ ПЕЩЕР
№ 5 (11)	<i>Д. Н. Старостин.</i> АРХЕОЛОГИЯ... НА ФРОНТЕ. <i>Русские ученые в Трапезунде</i>
№ 6 (12)	<i>В. В. Ламин.</i> ВЕРСТЫ В БУДУЩЕЕ. <i>Предыстория ТРАНССИБА</i>
№ 6 (12)	<i>А. А. Иконников-Галицкий.</i> ДОГЭЭ-БААРЫ – СЕРДЦЕ СФИНКСА
№ 6 (12)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> НА 18 МЕТРОВ В ГЛУБИНУ ВЕКОВ
№ 6 (12)	<i>А. Х. Элерт.</i> РУССКИЕ СИБИРЯКИ XVIII ВЕКА И АЛКОГОЛЬ. <i>По материалам Второй Камчатской экспедиции</i>
2007	
№ 1 (13)	<i>Н. Н. Крадин, Т. Д. Скрынникова.</i> ПОД ЗНАМЕНАМИ ЧИНГИС-ХАНА
№ 1 (13)	<i>Б. В. Базаров.</i> ВОИНЫ И СКОТОВОДЫ ВЕЛИКОЙ СТЕПИ
№ 1 (13)	<i>Ю. С. Худяков.</i> НЕПОБЕДИМАЯ АРМИЯ МОНГОЛОВ
№ 1 (13)	<i>С. П. Нестеров.</i> «МЕСТО НАШЕГО ПОСЛЕДНЕГО ЖИЛИЩА ДОЛЖНО БЫТЬ ЗДЕСЬ!»
№ 1 (13)	<i>С. В. Данилов.</i> ГОРОДА... КОЧЕВНИКОВ
№ 1 (13)	<i>С. Г. Скобелев.</i> ЮЖНАЯ СИБИРЬ ПОД ВЛАСТЬЮ МОНГОЛОВ
№ 1 (13)	<i>Л. А. Бобров.</i> ДЖУНГАРСКОЕ ХАНСТВО – ПОСЛЕДНЯЯ КОЧЕВАЯ ИМПЕРИЯ

№ 2 (14)	<i>А. Х. Элерт.</i> АЛКОГОЛЬ И ГАЛЛЮЦИНОГЕНЫ В ЖИЗНИ КОРЕННЫХ НАРОДОВ СИБИРИ
№ 2 (14)	<i>Б. В. Базаров.</i> КОЧЕВНИК В ЭПОХУ ГЛОБАЛИЗАЦИИ
№ 2 (14)	<i>М. В. Шуньков.</i> НОВАЯ СИБИРСКАЯ АРХЕОЛОГИЯ
№ 3 (15)	<i>Е. Э. Войтишек, С. А. Комиссаров.</i> ИГРОМАНИЯ ПО-ВОСТОЧНОМУ
№ 3 (15)	<i>Н. П. Матханова, Н. Н. Александрова.</i> ПЕРВЫЕ ДАМЫ. <i>Сибирская провинция XIX в.</i>
№ 4 (16)	<i>В. И. Молодин.</i> КРЕСТЫ-ТЕЛЬНИКИ ИЛИМСКОГО ОСТРОГА
№ 4 (16)	<i>С. Ю. Лепехов.</i> СВЯТЫНИ БУДДИЙСКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ
№ 5 (17)	<i>М. Ф. Косарев.</i> В ПОИСКАХ ВЕЛИКОЙ ВЕНГРИИ (продолжение). <i>Пушная пора</i>
№ 6 (18)	<i>А. Х. Элерт.</i> ПО СЛЕДАМ АКАДЕМИЧЕСКОГО ОТРЯДА ВЕЛИКОЙ СЕВЕРНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ
№ 6 (18)	<i>И. Г. Гмелин.</i> ПУТЕШЕСТВИЕ ПО СИБИРИ. <i>Тюрки Красноярского уезда и их шаманы</i>
№ 6 (18)	<i>А. М. Панфилов.</i> НЕВОЗВРАЩЕНЕЦ. <i>История одного побега</i>
№ 6 (18)	<i>Г. В. Стеллер.</i> ОПИСАНИЕ ГОРОДА ИРКУЦКА И ОКРЕСТНЫХ МЕСТНОСТЕЙ. <i>Иркуцкие нравы и образ жизни</i>
№ 6 (18)	<i>А. М. Панфилов.</i> ИДУЩИЙ ЗА ГОРИЗОНТ, ИЛИ МОЛИТВА О ПРЕОДОЛЕНИИ
№ 6 (18)	<i>В. Хинтше.</i> ВТОРАЯ КАМЧАТСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ – НАУЧНЫЙ ПОДВИГ XVIII СТОЛЕТИЯ
№ 6 (18)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> ОПИСАНИЕ СИБИРСКИХ НАРОДОВ. <i>Рыцари тайги</i>
№ 6 (18)	<i>А. М. Панфилов.</i> «ОХОТА МОЯ К УСЛУЖЕНИЮ ОБЩЕСТВУ...»
№ 6 (18)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> ОПИСАНИЕ СИБИРСКИХ НАРОДОВ. <i>Проблемы брака и семьи у народов Сибири</i>
№ 6 (18)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> ЯЗЫЧЕСКИЕ ВЕРОВАНИЯ И ОБРЯДЫ. <i>Описание якутского обряда жертвоприношения</i>
№ 6 (18)	<i>А. Х. Элерт.</i> РУССКИЕ СИБИРЯКИ XVIII ВЕКА И АЛКОГОЛЬ
№ 6 (18)	<i>А. Х. Элерт.</i> АЛКОГОЛЬ И ГАЛЛЮЦИНОГЕНЫ В ЖИЗНИ АБОРИГЕНОВ СИБИРИ
2008	
№ 1 (19)	<i>А. В. Сидоренко.</i> БОЛЬШОЕ СТАРЕНИЕ
№ 1 (19)	«ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ: ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ»
№ 3 (21)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> ЗА «КАДРОМ» АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ СЕНСАЦИЙ
№ 6 (24)	<i>В. М. Кулемзин.</i> ТЫЛЕС КУРОК ИКИ, ИЛИ ОРЕЛ ПРИЛЕТАЕТ НА НОВЫЙ ГОД
№ 6 (24)	<i>Е. И. Деревянко, А. Б. Застельский.</i> ТРОПОЙ ДАЛЕКИХ ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ. <i>К 100-летию А. П. Окладникова</i>
2009	
№ 1 (25)	<i>В. М. Кулемзин.</i> «ЗАГОТОВКА ДЛЯ ТЕЩИ» С БЕНЗОПИЛОЙ. <i>Как сибирские аборигены соединяют древность с современностью</i>
№ 1 (25)	<i>Т. А. Исаева.</i> ДЕТСКИЕ КУКЛЫ НЁРЫМ ЯХ. <i>Игрушка как элемент традиционной культуры</i>
№ 1 (25)	<i>А. В. Лавров, В. И. Забелин.</i> ТАЙНЫ КРАСНОЙ ГЛИНЫ. <i>Новые страницы доледниковой истории Южной Сибири</i>
№ 1 (25)	<i>К. А. Сагалаев.</i> НА ИНДИГИРКУ – ЗА ТУМАНОМ И ФОЛЬКЛОРОМ
№ 2 (26)	<i>Н. Н. Покровский, О. Д. Журавель.</i> СТЕПЕННАЯ КНИГА: ШАГ К ИСТОКАМ
№ 2 (26)	<i>А. В. Бауло.</i> ЛЕГЕНДАРНОЕ НИЛЬДИНСКОЕ БЛЮДО

№ 2 (26)	<i>Н. П. Матханова, Е. В. Бархатова.</i> ЕЕ ПРЕВОСХОДИТЕЛЬСТВО ФОТОГРАФ
№ 3 (27)	<i>Е. Ф. Фурсова.</i> СИБИРСКИЕ СТАРОБРЯДЦЫ: ИСТОРИЯ В КОСТЮМАХ
№ 4 (28)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> КУРГАН ДЛЯ ЛУНОЛИКОЙ
№ 5 (29)	<i>А. В. Бауло.</i> БИБЛЕЙСКИЕ ЦАРИ НА ХАНТЫЙСКОМ СВЯТИЛИЩЕ
№ 5 (29)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> «ТАМ НА НЕВЕДОМЫХ ДОРОЖКАХ СЛЕДЫ НЕВИДАННЫХ ЗВЕРЕЙ...»
№ 6 (30)	<i>Г. В. Стеллер.</i> ТРАКТАТ О НАРОДНОЙ МЕДИЦИНЕ. Перевод Т. А. Лукиной
№ 6 (30)	<i>Н. В. Федорова.</i> ТЕРРИТОРИЯ ПРЕДКОВ. Костяной человек и другие артефакты с древнего святилища
№ 6 (30)	<i>А. А. Саввин.</i> ПИЩА БЕЗ «ДУШИ» НЕ НАСЫЩАЕТ. <i>Социальные и обрядовые аспекты традиционной системы питания якутов</i>
2010	
№ 1 (31)	<i>Н. А. Копанев.</i> ИЗДАНИЕ В АМСТЕРДАМЕ ТРУДА О РУССКИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЯХ
№ 1 (31)	<i>О. А. Красникова.</i> КАРТА СЕВЕРНОГО БЕРЕГА РОССИИ 1612 Г. ИСААКА МАССЫ И КНИГА БОЛЬШОМУ ЧЕРТЕЖУ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВА
№ 1 (31)	<i>Й. Дриссен ван хетт Реве.</i> НИКОЛААС ВИТСЕН – КОЛУМБ ЛЕГЕНДАРНОЙ ТАРТАРИИ
№ 1 (31)	<i>А. Н. Копанева.</i> СОБИРАТЕЛЬ ФАКТОВ И РЕДКОСТЕЙ
№ 1 (31)	<i>Н. П. Копанева.</i> ЖИВЫЕ КРАСКИ МЕРИАН
№ 2 (32)	<i>В. И. Осмоловская.</i> «ЯСНОЙ СОЛНЕЧНОЙ НОЧЬЮ...» <i>О жизни двух москвичек-зоологов в тундре Ямала в годы войны</i>
№ 2 (32)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> О ДУХОВНЫХ СВОЙСТВАХ НАРОДОВ
№ 2 (32)	<i>Н. П. Копанева.</i> ДНИ ВЕЛИКИХ ИСПЫТАНИЙ. ВОЙНА С ГЕРМАНИЕЙ
№ 3 (33)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> «МЫ ВЫПИЛИ СОМУ, МЫ СТАЛИ БЕССМЕРТНЫМИ...»
№ 3 (33)	ПУТЕШЕСТВЕННИК ЗА РЕДКИМИ КНИГАМИ. <i>К юбилею академика Н. Н. Покровского</i>
№ 3 (33)	<i>А. Г. Козинцев.</i> ИСТОРИЯ ОДНОГО ШАМАНСКОГО БУБНА
№ 4 (34)	<i>М. В. Шуньков.</i> ДЕНИСОВА ПЕЩЕРА – ВСЕ МЕНЯЕТСЯ, НИЧТО НЕ ИСЧЕЗАЕТ
№ 4 (34)	<i>А. В. Бауло.</i> СЛУЖИЛ ИРАНСКИЙ ЦАРЬ В СИБИРИ...
№ 5 (35)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> ВНЕШНОСТЬ ОБМАНЧИВА...
№ 5 (35)	<i>В. М. Кулемзин.</i> КУКУШКА-ДОНОСЧИЦА И МУХОМОР- ПРОВОДНИК
№ 5 (35)	<i>Ю. А. Слепцов.</i> ЧУРИМА БЕЛОГО ШАМАНА
№ 5 (35)	<i>В. Е. Васильев.</i> КОЛЫМСКИЕ ШАЙТАНЫ: ЛЕГЕНДЫ И РЕАЛЬНОСТЬ
№ 6 (36)	<i>Я. С. Якимов.</i> ПОГРЕБЕННЫЕ ПОЧВЫ – ПОСЛАНИЕ ИЗ ПРОШЛОГО
№ 6 (36)	<i>С. В. Данилов.</i> ШОРООН ДОВ – «ЗЕМЛЯНОЙ БУГОР»
2011	
№ 1 (37)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> СВЕТ ДАЛЕКОЙ ЭЛЛАДЫ
№ 2 (38)	<i>В. И. Молодин.</i> ЗА ПЕРЕВАЛОМ САЙЛЮГЕМ...
№ 2 (38)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> ИСТОРИЯ, ВЫШИТАЯ ШЕРСТЬЮ
№ 3 (39)	<i>Н. В. Полосьмак, Е. С. Богданов.</i> ВЕСТИ С ПОЛЕЙ
№ 3 (39)	<i>О. А. Красникова.</i> КАРТЫ В ИСТОРИИ УСТАНОВЛЕНИЯ РОССИЙСКО-КИТАЙСКОЙ ГРАНИЦЫ В XVII—XVIII ВВ. И КАРТА КИТАЯ, ПРИСЛАННАЯ ПЕТРУ I ИМПЕРАТОРОМ КАМ-ХИ

№ 3 (39)	<i>М. Ф. Хартанович, М. В. Хартанович.</i> ТУНГУССКИЕ КНЯЗЬЯ ГАНТИМУРОВЫ
№ 3 (39)	<i>М. В. Хартанович.</i> БУРЯТ-МОНГОЛЬСКАЯ АНТРОПОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ 1931 Г.
№ 5 (41)	<i>Н. С. Уртегешев.</i> ТОМОГРАММА ДЛЯ ЯЗЫКА
№ 6 (42)	<i>Н. Н. Покровский.</i> ЛАТУХИНСКАЯ СТЕПЕННАЯ КНИГА – ИСТОРИЯ ЕДИНОГО ГОСУДАРСТВА РОССИЙСКОГО
№ 6 (42)	<i>Н. П. Копанева.</i> «СЕВЕРНЫЙ ОКЕАН ЕСТЬ ПРОСТРАННОЕ ПОЛЕ, ГДЕ ... УСУГУБИТЬСЯ МОЖЕТ РОССИЙСКАЯ СЛАВА». <i>К 300-летию М. В. Ломоносова</i>
2012	
№ 1 (43)	<i>Н. В. Полосьмак.</i> ЛИЦА ИЗ ПРОШЛОГО
№ 2 (44)	<i>Н. П. Копанев.</i> СТЕПАН ПЕТРОВИЧ КРАШЕНИННИКОВ: 25 773 ВЕРСТЫ ПО СИБИРИ И КАМЧАТКЕ
№ 2 (44)	<i>Д. Г. Савинов.</i> О РАСКОПКАХ ПОГРЕБЕНИЯ С. П. КРАШЕНИННИКОВА В ПЕТЕРБУРГЕ
№ 4 (46)	<i>Н. В. Полосьмак, Е. С. Богданов.</i> СЛЕД КИТАЙСКОЙ КОЛЕСНИЦЫ
№ 4 (46)	<i>Д. Л. Орлов.</i> ТЕАТР ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ – НА «120 ДЮЖИНАХ БУМАЖНЫХ ПЛАТКОВ»
№ 4 (46)	<i>Н. А. Копанев.</i> «ЗАВТРАК КАДЕТСКОГО КОРПУСА», или <i>Утренние послания генерала Ф. Е. Ангальта</i>
№ 4 (46)	<i>О. А. Красникова.</i> КОЛЫМСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ ГЕОРГИЯ СЕДОВА
ЭВОЛЮЦИЯ	
2004	
№ 0	<i>Н. А. Колчанов.</i> ЛОВЧИЕ СЕТИ ЭВОЛЮЦИИ
№ 0	<i>В. А. Бердников.</i> СПЛОЖНОСТЬ КАК МЕРИЛО ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОГРЕССА
№ 0	<i>Н. Л. Добрецов.</i> ЧТО МЫ ЗНАЕМ И ЧЕГО НЕ ЗНАЕМ ОБ ЭВОЛЮЦИИ
№ 0	<i>Н. П. Юшкин.</i> РОЖДЕННЫЕ ИЗ КРИСТАЛЛОВ?
№ 0	<i>В. Н. Снытников, В. Н. Пармон.</i> ЖИЗНЬ СОЗДАЕТ ПЛАНЕТЫ?
№ 0	<i>В. Н. Пармон.</i> ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР СРЕДИ МОЛЕКУЛ
№ 1	<i>Г. А. Заварзин.</i> МИКРОБЫ ДЕРЖАТ НЕБО
№ 1	<i>Д. Ю. Щербаков, С. В. Семовский.</i> НУКЛЕОТИДНЫЕ ХРОНИКИ «СМУТНОГО ВРЕМЕНИ»
№ 1	<i>А. В. Каныгин.</i> ПОХВАЛЬНОЕ СЛОВО КАТАСТРОФАМ
№ 2 (3)	<i>В. В. Власов, А. В. Власов.</i> ЖИЗНЬ НАЧИНАЛАСЬ С РНК
№ 2 (3)	<i>С. Г. Инге-Вечтомов.</i> ПОИСКИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ... В ЭВОЛЮЦИИ
№ 2 (3)	<i>С. В. Шестаков.</i> ТРАНСГЕННЫЕ РОДСТВЕННИКИ
2005	
№ 1 (4)	<i>А. П. Деревянко.</i> ЧЕЛОВЕК ИДЕТ ПО СВЕТУ
№ 1 (4)	<i>А. И. Кривошапкин.</i> НЕДОСТАЮЩЕЕ ЗВЕНО?
№ 1 (4)	<i>А. Ю. Розанов.</i> ОТ КЕМБРИЯ И ДО СОТВОРЕНИЯ МИРА
№ 2 (5)	НА НОВОМ ВИТКЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
№ 2 (5)	<i>Н. Л. Добрецов.</i> ДОЛГАЯ ЮНОСТЬ ПЛАНЕТЫ. <i>О ранних стадиях зарождения и эволюции жизни</i>
2006	
№ 1 (7)	<i>А. В. Власов.</i> ЭВОЛЮЦИЯ В ПРОБИРКЕ
2007	
№ 2 (14)	<i>Л. Н. Трут.</i> ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
№ 4 (16)	<i>В. Е. Репин, В. В. Власов.</i> ПУТЕШЕСТВИЕ В НЕВИДИМЫЙ МИР

2008	
№ 1 (19)	<i>А. К. Агаджанян.</i> В ТЕНИ ДИНОЗАВРОВ. <i>Родословная млекопитающих</i>
№ 6 (24)	<i>А. Б. Птицын.</i> НЕЗАМЕТНЫЕ ТРУЖЕНИКИ. <i>Микробные сообщества в геохимических системах</i>
2009	
№ 2 (26)	<i>В. В. Власов, В. Е. Репин.</i> РЕПОРТАЖ ИЗ ДОЛИНЫ СМЕРТИ
№ 3 (27)	<i>В. В. Власов, В. Е. Репин, В. С. Прасолов, Г. А. Карпов.</i> МНОГОГОЛОСЫЙ ШЕПОТ УЗОНА
2010	
№ 2 (32)	<i>А. П. Деревянко, М. В. Шуньков.</i> ЧЕЛОВЕК АЛТАЙСКИЙ?
№ 4 (34)	<i>А. П. Деревянко.</i> РОДОСЛОВНАЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА: ТЕОРИИ И ФАКТЫ
ЭНЕРГЕТИКА	
2005	
№ 2 (5)	<i>А. Э. Конторович.</i> ИСПОВЕДЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧИКА...
№ 2 (5)	<i>Э. П. Кругляков.</i> ЗВЕЗДНЫЕ РЕАКТОРЫ. <i>На пути к термоядерной энергетике</i>
№ 2 (5)	<i>Д. С. Стребков.</i> ПОД ЗНАКОМ ГЕЛИОСА. <i>Перспективы развития солнечной энергетике</i>
№ 2 (5)	<i>Н. И. Воропай.</i> ЭНЕРГЕТИКА: ОТ ПРОШЛОГО К БУДУЩЕМУ
2007	
№ 5 (17)	<i>М. А. Грачев.</i> В ПОИСКАХ ЭНЕРГИИ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА
№ 5 (17)	<i>В. П. Шопен.</i> КОМБИНАТ № 820
2008	
№ 3 (21)	<i>А. А. Козлов, В. Д. Богдан-Курило.</i> ВНИМАНИЕ! РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
2010	
№ 1 (31)	<i>А. Н. Анушенков, В. И. Сапронов.</i> БЕЛОЕ ТЕПЛО ЧЕРНОГО УГЛЯ
№ 2 (32)	<i>Н. С. Сочугов, А. В. Батраков.</i> ЭЛЕКТРОННЫЙ ПУЧОК ДАЕТ ЖИЗНЬ ТОПЛИВНОМУ ЭЛЕМЕНТУ
НАУКА В КАРТИНКАХ	
2009	
№ 6 (30)	МИР ГЛАЗАМИ НАУКИ
2010	
№ 1 (31)	МИР ГЛАЗАМИ НАУКИ
№ 5 (35)	<i>И. А. Горбунова.</i> ГРИБНЫЕ РАРИТЕТЫ
2011	
№ 5 (41)	<i>И. Константинов, Ю. Стефанов, А. Ковалевский, Е. Воронин.</i> В 3-D РЕАЛЬНОСТИ
ДЕТСКАЯ СТРАНИЦА	
2005	
№ 0	ДЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ 100 ЛЕТ НАЗАД
№ 1	ХОЧУ БЫТЬ НЕРПОЙ
№ 2 (3)	<i>И. А. Захаров.</i> ЭТОТ ПРЕДАННЫЙ ДРУГ ЧЕЛОВЕКА
2006	
№ 3 (9)	ТИТО – ЖИВОПИСЕЦ. <i>Репортаж В. Короткоручко</i>
№ 5 (11)	<i>Я. Ливанов.</i> МОЕ ЭКСПЕДИЦИОННОЕ ЛЕТО

НЕ НАУКОЙ ЕДИНОЙ	
2004	
№ 0	<i>А. Павлова.</i> ДАЛЕКОЕ ЭХО РЕНЕССАНСА
2005	
№ 2 (5)	<i>Л. И. Корочкин.</i> КАК БИОЛОГ СТАЛ ХУДОЖНИКОМ
2006	
№ 1 (7)	<i>А. В. Коптюг, Й. Острем, Л. Г. Ананьев.</i> КАК СДЕЛАТЬ ИДЕАЛЬНЫЙ СНЕГ
№ 2 (8)	<i>А. В. Коптюг, М. Тиннстен, М. Бэкстрем.</i> ЛЮДИ И ЛЫЖИ
№ 3 (9)	<i>В. В. Власов.</i> ПЕТРА
№ 4 (10)	ПУТЕШЕСТВИЕ В РАЙСКОЕ МЕСТЕЧКО АРШАН. <i>Репортаж В. Короткоручко</i>
№ 4 (10)	<i>А. Г. Толстикова.</i> В ПЕРЕСЕЧЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЕЙ
2007	
№ 1 (13)	<i>В. В. Власов.</i> ФОНТАНЫ ЗАТЕРЯННОГО МИРА
№ 3 (15)	<i>В. С. Прасолов.</i> ЗООПАРК ГАГЕНБЕКОВ: «ТАК БЛИЗКО, ТАК ЕСТЕСТВЕННО, ТАК ПРЕКРАСНО!»
2008	
№ 1 (19)	<i>В. В. Глухов, П. С. Бородавко.</i> МОНГОЛИЯ: «...ГОЛОС ДАЛИ БУДИТ ДУШУ»
№ 6 (24)	<i>В. М. Кулемзин.</i> НИ АРШИНОМ, НИ УМОМ. <i>Невыдуманные истории</i>
2012	
№ 1 (43)	<i>В. Н. Анисимов.</i> ПРИЧУДЛИВО ТАСУЕТСЯ КОЛОДА...
№ 3 (45)	<i>В. В. Власов.</i> ГРАНД-КАНЬОН – МЕЧТА ТУРИСТА И УЧЕБНИК ДЛЯ ГЕОЛОГА
МУЗЕИ И КОЛЛЕКЦИИ	
2004	
№ 0	<i>К. Толоконникова.</i> ПУТЕШЕСТВИЕ ДЛИННОЮ В 300 ТЫСЯЧ ЛЕТ
№ 1	<i>С.-Х. Д. Сыртыпова.</i> ДОМ ДЛЯ ГАНДЖУРА
2006	
№ 3 (9)	<i>Н. П. Копанева.</i> ПРОГУЛКИ ПО «НАРИСОВАННОМУ МУЗЕЮ»
№ 4 (10)	ДУХИ ЗА МУЗЕЙНОЙ ЗАНАВЕСКОЙ. <i>Этнографический музей пос. Шеркалы</i>
№ 5 (11)	<i>Е. Ф. Королькова.</i> ЗОЛОТО КОЧЕВНИКОВ. <i>О «Сибирской коллекции» Петра I</i>
№ 5 (11)	<i>К. М. Бэр, А. А. Шифнер.</i> О СОБИРАНИИ ДОИСТОРИЧЕСКИХ ДРЕВНОСТЕЙ В РОССИИ ДЛЯ ЭТНОГРАФИЧЕСКОГО МУЗЕЯ
№ 5 (11)	<i>Н. П. Копанева.</i> «ВОЗВРАЩЕНИЕ» АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ КОЛЛЕКЦИИ МЕССЕРШМИДТА
2008	
№ 2 (20)	<i>Н. П. Копанева.</i> «... НЕОЦЕНЕННЫЕ ПОЛЬЗЫ УЧИНИЛИ»
№ 5 (23)	<i>Н. П. Копанева.</i> «ЛЕОНГАРДЪ ЭУЛЕРЬ». <i>По материалам СПб филиала архива РАН</i>
№ 5 (23)	<i>Н. А. Копанев.</i> ДАР ФРАНКЛИНА ЕКАТЕРИНЕ II
№ 6 (24)	<i>Н. М. Щербин, О. Н. Шелегина, Г. М. Запороженко.</i> ННЦ: ЖИВЕМ, РАБОТАЕМ, ОТДЫХАЕМ
2010	
№ 5 (35)	<i>О. В. Семенова.</i> ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ

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"/>						

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@info-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@info-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





Яркое солнце весеннего Байкала. Фото В. Короткоручко



9 771810 396003 48